

Schlussbericht vom 04.04.2022

zu IGF-Vorhaben Nr. 20906 N

Thema

Modellbasierte Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie

Berichtszeitraum

01.11.2019 bis 31.01.2022

Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik e.V. (BVL)

Forschungseinrichtung(en)

FE 1: Leibniz Universität Hannover, Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA)

FE 2: Leuphana Universität Lüneburg, Institut für Produkt- und Prozessinnovation (PPI)

Gefördert durch:

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Zusammenfassung	6
2 Grundlagen und Stand der Forschung	8
2.1 Auftragsabwicklungsstrategien.....	8
2.2 Einflussfaktoren und Auswirkungen auf Zielgrößen.....	9
2.3 Ansätze zur Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie	10
2.4 Problemstellung und Handlungsbedarf	11
3 Darstellung der erzielten Projektergebnisse.....	13
3.1 Zielsetzung	13
3.2 Arbeitspaket 1: Identifikation der Einflussgrößen und beeinflussten unternehmerischen Zielgrößen	14
3.3 Arbeitspaket 2: Anpassung logistischer Modelle für MTO-/MTS-Mischstrategien	16
3.4 Arbeitspaket 3: Modellierung des Potenzials eines Belastungsabgleichs für MTS & MTO/MTS	18
3.5 Arbeitspaket 4: Erstellung eines Simulationsmodells einer unternehmens-internen Lieferkette	24
3.6 Arbeitspaket 5: Durchführung von Simulationsstudien zur Validierung der Modellierungsarbeiten.....	25
3.7 Arbeitspaket 6: Mathematische und datentechnische Verknüpfung eines Gesamtmodells.....	27
3.8 Arbeitspaket 7: Softwaretechnische Umsetzung in einem Software-Demonstrator	32
3.9 Arbeitspaket 8: Validierung des Gesamtmodells und des Demonstrators mittels Simulationsstudien.....	34
3.10 Arbeitspaket 9: Anwendungstest des Software-Demonstrators in den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses	36
3.11 Arbeitspaket 10: Dokumentation (projektbegleitend)	37
4 Innovativer Beitrag und wirtschaftlicher Nutzen	38
5 Verwendung der Zuwendung	40

6	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	41
7	Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	42
8	Durchführende Forschungsstelle	47
9	Förderhinweis	48
10	Literaturverzeichnis	49
11	Anhang	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Grundlegende Auftragsabwicklungsstrategien [2,3]	8
Abbildung 2-2: Einflussfaktoren auf die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie [1].....	9
Abbildung 2-3: Grundidee der Modellierung und Verortung logistischer Modelle [23]	12
Abbildung 3-1: Arbeitspaketstruktur des vorliegenden Forschungsvorhabens	13
Abbildung 3-2: Auszug der identifizierten Einfluss- und Zielgrößen	15
Abbildung 3-3: Auszug der Einordnung der Effekte der identifizierten Größen basierend auf der Auftragsabwicklungsstrategie	15
Abbildung 3-4: Auftragsabwicklungsstrategien sortiert nach der Lage des Kundenauftragsentkopplungspunkts [25].....	16
Abbildung 3-5: Möglichkeiten des Belastungsabgleiches [31].....	19
Abbildung 3-6: Auswirkungen eines zeitlichen Belastungsabgleichs auf Lieferzeit und Pufferbestand.....	20
Abbildung 3-7: Schematischer Ablauf des Bestandsabgleiches.....	20
Abbildung 3-8: (A) Durchlaufdiagramm [34] – (B) flächenbasierte Berechnung von Belastungsstreuung [33].....	21
Abbildung 3-9: Ursachen von Belastungsstreuung und Möglichkeiten des Belastungsabgleichs [31 in Anlehnung an 33]	22
Abbildung 3-10: Simulative Untersuchung der Belastungsflexibilität in Abhängigkeit des Anteils der MTS-Produkte an der Nachfrage und des Bestandsniveaus [31]	26
Abbildung 3-11: Vorgehensweise zur Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie.....	29
Abbildung 3-12: Vorgehensweise zur Analyse des Potenzials des Belastungsabgleiches	31
Abbildung 3-13: Startoberfläche des Software-Demonstrators	33
Abbildung 3-14: Bsp. Simulationsergebnisse zur Kostensensitivität bei der Variation der Auftragsabwicklungsstrategie eines Erzeugnisses	36
Abbildung 4-1: Beispielhafte Anwendung des Software-Demonstrators [41].....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 7-1: Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses	42
Tabelle 7-2: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft (spezifische durchgeführte und geplante Transfermaßnahmen)	43

1 Zusammenfassung

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sehen sich im Angesicht eines steigenden Wettbewerbsdrucks zunehmend höheren Marktanforderungen gegenüber. Um im Wettbewerb bestehen zu können, müssen sie sich an den herrschenden Marktanforderungen ausrichten. In diesem Rahmen sind insbesondere die logistischen Leistungsmerkmale Lieferzeit und Liefertermintreue vermehrt kaufentscheidend. Während Unternehmen ihre Logistikleistung gezielt auf den Markt einstellen müssen, sind gleichzeitig die Logistikkosten zu minimieren, damit KMU im Wettbewerb bestehen können.

Ein zentraler Stellhebel ist dabei die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie. Unternehmen können in Abhängigkeit der Lage des Kundenauftragsentkopplungspunktes zwischen Make-to-Order (MTO), Assemble-to-Order (ATO) und Make-to-Stock (MTS) wählen. Die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie hat einen hohen Einfluss auf logistische und wirtschaftliche Zielgrößen. Daher ist diese Wahl je Produkt individuell zu treffen. Aufgrund der Volatilität der Märkte und kürzer werdenden Produktlebenszyklen ist diese Wahl zudem regelmäßig zu überprüfen. Eine regelmäßige und produktindividuelle Überprüfung der Auftragsabwicklungsstrategie ist aktuell aber noch sehr aufwendig. KMU haben zudem selten ausreichend personelle Kapazitäten, die sich mit dieser Problemstellung gezielt beschäftigen können. Dadurch wird häufig nach Erfahrungswerten entschieden oder nur wenige, qualitative Kriterien genutzt. Entscheidungen werden nicht selten pauschal für gesamte Produktgruppen getroffen.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es daher, KMU zur aufwandsarmen und regelmäßigen Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie zu befähigen, die eine Ausrichtung an Marktanforderungen sowie eine hohe Logistikeffizienz sicherstellt. Dafür sollten in Produktionsunternehmen typischerweise verfügbare Daten verwendet und automatisch ausgewertet werden. Auf dieser Grundlage sollte produktweise die zur Erfüllung der Marktanforderungen kostengünstigste Auftragsabwicklungsstrategie vorgeschlagen werden. Zur Erreichung des Forschungsziels wurden auf Basis fundierter logistischer Modelle allgemeingültige Wirkzusammenhänge zwischen der Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie und logistischen und wirtschaftlichen Zielgrößen abgeleitet. Diese wurden miteinander zu einem Gesamtmodell verknüpft und zur Anwendung in KMU in einem Software-Demonstrator umgesetzt.

Im Ergebnis liegt für die Bestimmung der optimalen Auftragsabwicklungsstrategien ein theoretisches Gesamtmodell zur Entscheidungsunterstützung bei der Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie sowie ein Software-Demonstrator, in dem das Gesamtmodell umgesetzt wurde, vor. Durch die regelmäßige Einbindung des projektbegleitenden Ausschusses konnte dabei die Erfüllung KMU-spezifischer Anforderungen sowie die Benutzerfreundlichkeit sichergestellt werden. Unter-

nehmen können den Software-Demonstrator anwenden, um unter Nutzung flächendeckend vorhandener Produkt-, Produktions- und Marktdaten, aus logistischer und wirtschaftlicher Sicht optimalen Auftragsabwicklungsstrategien zu bestimmen. Ausgangspunkt der Berechnung sind dabei Zielwerte der logistischen Leistungsfähigkeit. Bei MTO und ATO wird eine Ziel-Liefertermineinhaltung und bei MTS ein Ziel-Servicegrad für das Fertigwarenlager angenommen. Bei MTS kann dieser Ziel-Servicegrad über eine Bestandsdimensionierung erreicht werden. Bei MTO und ATO ist jeweils entsprechend der Prozessstabilität die Sicherheitszeit dermaßen zu dimensionieren, dass die gewünschte Liefertermineinhaltung erzielt wird. Über die Modellierungen der jeweils anfallenden Bestandskosten auf den verschiedenen Lagerstufen, der Rüstkosten entsprechend der produzierbaren Losgrößen in den entsprechenden kundenauftragsanonymen oder kundenauftragspezifischen Teil des Produktionsdurchlaufs sowie der etwaigen Verzugskosten bei Lieferverspätungen können die Kosten je Auftragsabwicklungsstrategie quantifiziert werden. Unter Prüfung verschiedener Anforderungen wie marktüblicher Lieferzeiten und maximaler Lagerverweildauern können die Auftragsabwicklungsstrategien eingegrenzt werden, unter denen die kostengünstigste Auftragsabwicklungsstrategie, mit der die Zielwerte der logistischen Leistungsfähigkeit erreicht werden können, gewählt werden kann.

Der Software-Demonstrator wird durch einen über den Projektumfang hinausgehenden Leitfaden ergänzt. Er unterstützt Unternehmen bei der Anwendung und erklärt die zugrundeliegenden logistischen Modelle, um die Transparenz über das Zustandekommen der Ergebnisse sicherzustellen. Der Software-Demonstrator, der Leitfaden sowie Beispieldatensätze sind über www.ifa.uni-hannover.de/mobastra und www.leuphana.de/mobastra frei zugänglich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das entwickelte Grundmodell ein höheres Verständnis der Wirkzusammenhänge bei der Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie zulässt. Durch dessen Umsetzung in einem anwenderfreundlichen Software-Demonstrator sind KMU dazu befähigt, aufwandsarm je Produkt die aus logistischer und wirtschaftlicher Sicht optimalen Auftragsabwicklungsstrategie zu wählen. Durch die klare Ausrichtung an den Marktanforderungen und den Zielwerten der logistischen Leistungsfähigkeit und gleichzeitiger Minimierung der Logistikkosten kann die Anwendung des Softwaredemonstrators zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von KMU führen. Die zuvor festgelegten Anforderungen an das Gesamtmodell konnten damit erfüllt werden. Das dem Forschungsprojekt zugrundeliegende Ziel wurde demzufolge erreicht.

2 Grundlagen und Stand der Forschung

Im Folgenden werden die relevanten Grundlagen kurz dargelegt. Dies umfasst die mit der Auftragsabwicklungsstrategie in Verbindung stehenden Einfluss- und Zielgrößen sowie bestehende Ansätze zur Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie. Daraus werden abschließend die Problemstellung sowie der Handlungsbedarf als Grundlage der Projektmotivation abgeleitet.

2.1 Auftragsabwicklungsstrategien

Basierend auf der Lage des Kundenentkopplungspunktes (KEP) werden in der Literatur grundsätzlich die vier Auftragsabwicklungsstrategien Engineer-to-Order (ETO), MTO, ATO und MTS unterschieden (vgl. Abbildung 2-1). Der KEP kennzeichnet den Punkt im Materialfluss an dem der Produktionsdurchlauf in eine kundenauftragsanonyme Produktion auf Lager und eine kundenauftragspezifische Produktion unterteilt wird [1].

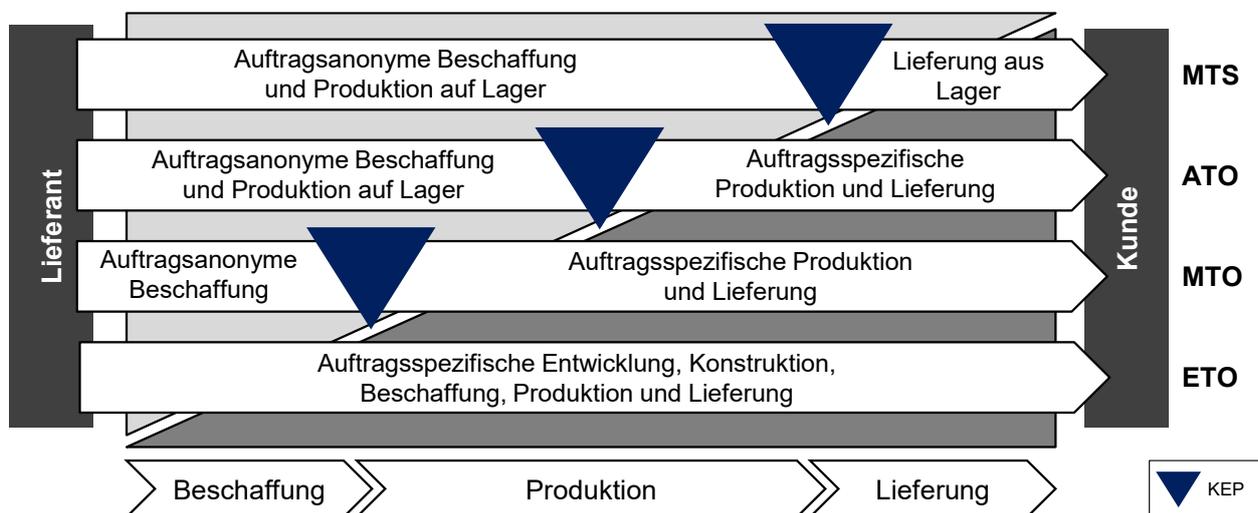


Abbildung 2-1: Grundlegende Auftragsabwicklungsstrategien [2,3]

Bei einer ETO-Produktion, werden einzelne Komponenten oder ganze Produkte kundenindividuell konstruiert, beschafft und produziert. Typischerweise wird diese Auftragsabwicklungsstrategie bei der kundenauftragspezifischen Einzelteilerfertigung und beim Bau von Großanlagen eingesetzt [4]. Eine MTO-Produktion beschreibt die kundenauftragspezifische Produktion mit einer kundenauftragsanonymen Beschaffung ohne einen Engineering-Anteil. Diese Auftragsabwicklungsstrategie ist beispielsweise im Anlagenbau zu finden [5]. Die kundenauftragsanonyme Produktion von Standardkomponenten oder -baugruppen und anschließende kundenauftragspezifische Montage zum Endprodukt werden als ATO bezeichnet. Ein Beispiel für diese Auftragsabwicklungsstrategie ist die Montage von Notebooks aus Standardkomponenten [6]. Bei einer MTS-Produktion erfolgt die Beschaffung sowie die gesamte Produktion kundenauftragsanonym. Die Belieferung der Kunden erfolgt aus einem Fertigwarenlager. Diese Auftragsabwicklungsstrategie eignet sich für die Herstellung von Standard-Produkten wie Mobiltelefonen [6].

2.2 Einflussfaktoren und Auswirkungen auf Zielgrößen

Produktionsunternehmen wollen möglichst wirtschaftlich produzieren und gleichzeitig ihre Kunden zufriedenstellen. Um dies zu erreichen, müssen sie sich bestmöglich im Dreieck zwischen den Zielgrößen Kosten, Zeit und Qualität positionieren [7]. Um langfristig am Markt bestehen zu können, werden die Zielgrößen Kosten und Zeit fokussiert und keine Kompromisse bei der Produktqualität gemacht. Diese beiden Größen Kosten und Zeit spiegeln sich in den wirtschaftlichen und logistischen Zielgrößen von Produktionsunternehmen sowie der Organisation der Produktionsprozesse wider. Die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie beeinflusst verschiedenste wirtschaftliche und logistische Zielgrößen von Produktionsunternehmen [9,8,1], wie zum Beispiel die Lieferzeit, Liefertermineinhaltung, die Bestandskosten und die Herstellkosten. Die Entscheidung zwischen MTO, ATO und MTS wird hauptsächlich durch wirtschaftliche und logistische Einflussgrößen bestimmt. Eine ETO-Produktion wird primär durch das Produkt vorgeben. Aufgrund der auftragspezifischen Konstruktion besteht nicht die Möglichkeit, eine andere Auftragsabwicklungsstrategie zu wählen. Die Vielzahl an existierenden qualitativen und strategischen Einflussfaktoren (Abbildung 2-2) erfordert die individuelle Festlegung und kontinuierliche Überprüfung der Auftragsabwicklungsstrategie für jedes Endprodukt oder jede Produktfamilie [10].

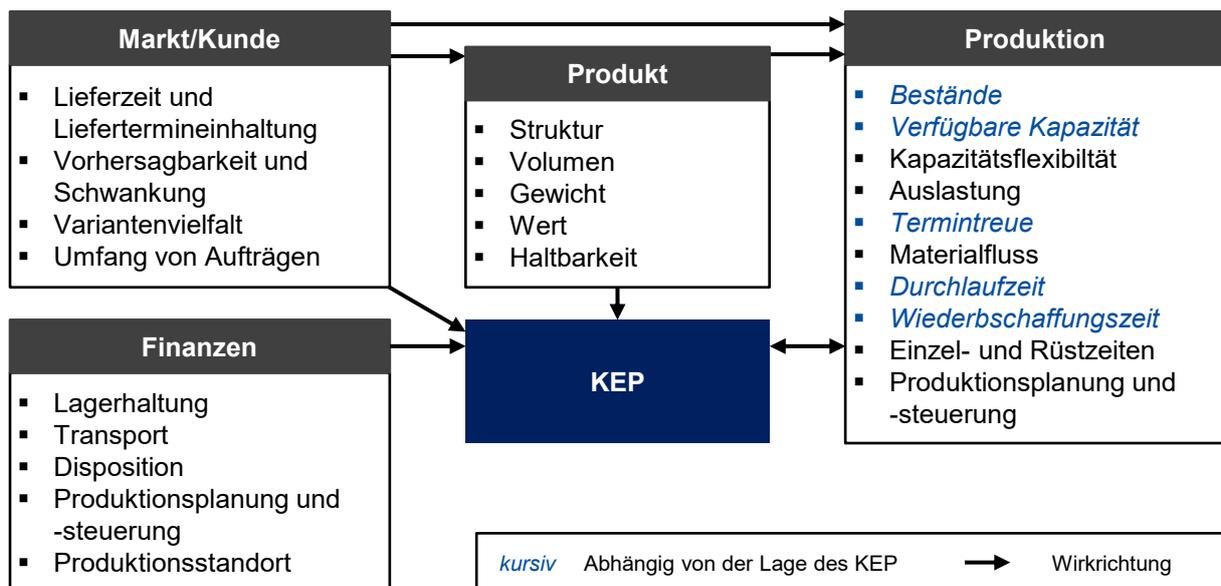


Abbildung 2-2: Einflussfaktoren auf die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie [1]

Neben Abhängigkeiten von nachgelagerten Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung, wie beispielsweise der Auftragsannahme, der Auftragsfreigabe, der Losgrößenplanung und der Reihenfolgebildung, haben auch übergeordnete Entscheidungen einen großen Einfluss. Beispielsweise kann die Wahl des Produktionsstandortes ganzheitlich betrachtet vorteilhaft für ein Unternehmen sein, jedoch können die damit einhergehenden Einfuhrbestimmungen, Steuern, Zölle und Verwaltungsangelegenheiten direkt zum Ausschluss einer Auftragsabwicklungsstrategie führen.

Einer aktuellen Studie zufolge sind MTO und MTS die in deutschen Produktionsunternehmen am häufigsten eingesetzten Auftragsabwicklungsstrategien [11]. Im Forschungsprojekt lag der Fokus auf der Entscheidung zwischen diesen beiden Auftragsabwicklungsstrategien sowie auf ATO. ATO ist dabei als Mischform beider Strategien mit einer kundenauftragsanonymen Vorfertigung von Komponenten in das Halbfabrikatelager gemäß MTS und einer kundenauftragspezifischen Montage gemäß MTO zu verstehen. ETO wurde nicht betrachtet, da aufgrund der notwendigen individuellen Entwicklung und Konstruktion des Produktes keine Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie möglich ist. Aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht haben alle Strategien ihre individuellen Vor- und Nachteile. Beispielsweise erlaubt eine MTS-Produktion die Nutzung der kostenoptimalen Losgröße. MTS-Produktionsaufträge fließen in ein Fertigwarenlager und sind somit flexibler zu steuern als MTO-Produktionsaufträge. Dies wirkt sich indirekt positiv auf die Auslastung der Kapazitäten aus. Die Nutzung eines Fertigwarenlagers führt zu sehr kurzen Lieferzeiten, geht jedoch mit entsprechenden Kapitalbindungs-, Lager- und Wagniskosten einher. Bei einer MTO-Produktion existiert nicht das Risiko, dass Fertigwaren nicht mehr verkaufen zu können, und Anpassungswünsche von Kunden können einfacher realisiert werden. Jedoch sind dafür die Lieferzeiten deutlich länger. Da die Kundenaufträge direkt in Produktionsaufträge überführt werden, entspricht die Losgröße der Bestellmenge des jeweiligen Auftrags und weicht daher von der kostenoptimalen Losgröße ab. Zudem erfordert eine MTO-Produktion in vielen Fällen einen höheren Steuerungsaufwand, z.B. um Terminabweichungen über Kapazitätsanpassungen auszugleichen. Sofern die Kaufentscheidung für ein Produkt primär auf der Lieferzeit basiert, ist eine MTS-Produktion die naheliegende Wahl. Unter der Annahme, dass die Anforderungen der einzelnen Kunden stark variieren, ist eine MTO-Produktion zu präferieren. In der industriellen Praxis lässt sich die Entscheidung jedoch nicht so stark vereinfachen. Die Globalisierung und die Zunahme von großen Online-Verkaufsplattformen verstärken den Wettbewerbsdruck [12]. Kunden erwarten heutzutage qualitativ hochwertige, individualisierte Produkte zu geringen Preisen mit kurzen Lieferzeiten und einer hohen Liefertermineinhaltung [13]. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wenden sich Produktionsunternehmen immer mehr ab von der Nutzung einer einzigen Auftragsstrategie für ihr gesamtes Produktportfolio. Es existiert daher eine Vielzahl an Abwandlungen und Kombinationen von klassischen MTO- und MTS-Produktionen. Auch in der Literatur wird die parallele Nutzung verschiedener Auftragsabwicklungsstrategien [14] sowie der Einsatz von hybriden Strategien [15] zur Kombination der Vorteile von MTO und MTS empfohlen.

2.3 Ansätze zur Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie

Die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie und die damit in Verbindung stehende Positionierung des KEP werden in der Literatur seit Längerem intensiv diskutiert. Im Folgenden werden exemplarische Ansätze skizziert. Obwohl zahlreiche Ansätze die Entscheidung zwischen MTS und MTO

thematisieren, liegen keine einheitlichen Entscheidungskriterien vor. Unter anderem wird eine simulationsbasierte Minimierung der Gesamtkosten [16], eine dynamische Anpassung der Auftragsabwicklungsstrategie entsprechend des Kostenminimums aus Halbfertigbestandskosten und Verzugskosten als Folge von Terminabweichungen [17] oder Entscheidung basierend auf dem benötigten Lagerplatz, der Umrüsfähigkeit und der Mengenflexibilität [18] vorgenommen.

Andere Ansätze beleuchten eine Kombination einer MTS- und einer MTO-Produktion. Bei einer Vielzahl der Arbeiten steht die Positionierung des KEPs im Vordergrund. Es kann hierbei zwischen quantitativen sowie qualitativen Ansätzen unterschieden werden. Die qualitativen Ansätze gliedern sich wiederum in produktionsorientierte, produktorientierte und multikriterielle Ansätze. Im Rahmen der produktionsorientierten Ansätze werden verschiedene produktionslogistische Einfluss- und Zielgrößen betrachtet. Um Produkte anhand eines produktionslogistischen Kriteriums, wie z. B. der Nachfragemenge, zu gruppieren und anschließend eine Empfehlung hinsichtlich der Position des KEP zu geben, wird häufig ein ABC-Analyse eingesetzt [19]. Produktorientierte Ansätze fokussieren die Produkte bei der Positionierung des KEP. Beispielsweise wird eine Auftragsabwicklungsstrategie basierend auf dem Nachfrageverhalten und der Produktstruktur abgeleiteten Lieferkettengrundtypen empfohlen [20]. Des Weiteren existieren einige multikriterielle Ansätze. Diese beschäftigen sich unter anderem mit den Einflussgrößen [8,15] sowie mit den für eine Auftragsabwicklungsstrategie notwendigen Rahmenbedingungen [21]. Quantitative Ansätze orientieren sich beispielweise am Unternehmensergebnis [22] und weisen daher im Vergleich zu den qualitativen Ansätzen einen höheren Praxisbezug auf.

2.4 Problemstellung und Handlungsbedarf

Die Vielzahl sowie die stark unterschiedlichen Herangehensweisen der Ansätze weisen auf die Komplexität der Problematik hin. Entscheidungskriterien werden stark eingeschränkt und führen in Kombination mit unterschiedlichen Gewichtungen und Grundannahmen zu verschiedensten Handlungsempfehlungen. Eine Vergleichbarkeit der Ansätze ist daher nur bedingt gegeben. Bestehende Ansätze für einen bewertenden Vergleich verschiedener Auftragsabwicklungsstrategien basieren vorrangig auf der Gegenüberstellung anwendungsfallspezifisch abgeleiteter Szenarien und lassen daher keine allgemeingültigen Aussagen zu. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein allgemeingültiges Vorgehensmodell benötigt wird, welches Unternehmen aufwandsarm und ohne umfangreiches Fachwissen für die Bestimmung einer geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie anwenden können. Das in dem vorliegenden Abschlussbericht beschriebene Projekt setzte an dieser Stelle an. Es wurde ein allgemeingültiges Modell zur analytischen, quantitativen Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie entwickelt.

Hierbei lag die folgende Forschungshypothese zugrunde:

„Durch die Kombination verschiedener logistischer Modelle ist es möglich, die Auswirkung der Auftragsabwicklungsstrategie auf wirtschaftliche und logistische Zielgrößen allgemeingültig mathematisch zu modellieren. Unternehmen werden so befähigt, aufwandsarm eine ganzheitliche, transparente und wirtschaftliche Entscheidung bei der Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie zu treffen.“

Abbildung 2-3 zeigt die Grundidee der Modellierung der Wirkzusammenhänge und verortet bereits existierende logistische Modelle innerhalb der unternehmensinternen Lieferkette.

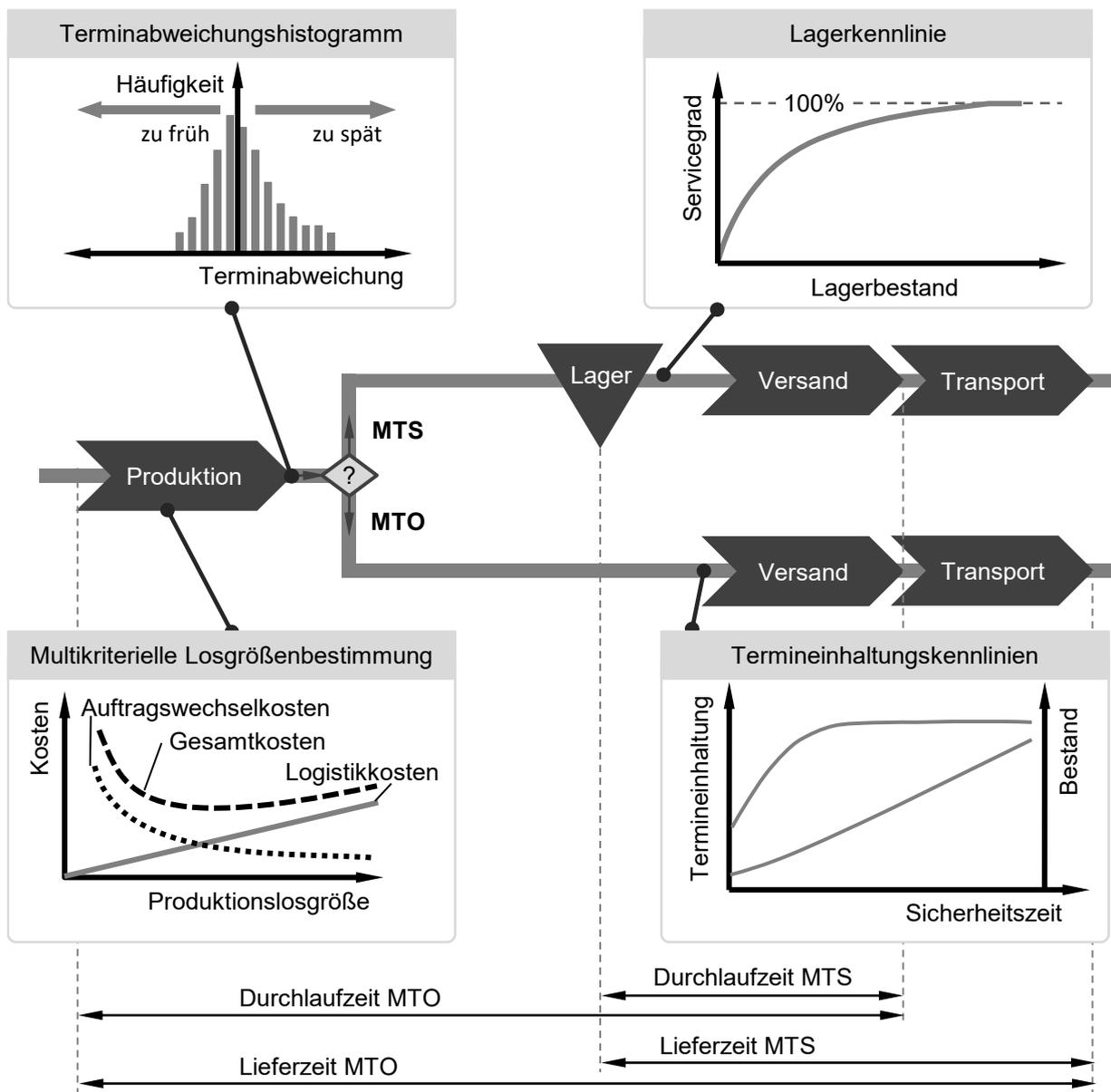


Abbildung 2-3: Grundidee der Modellierung und Verortung logistischer Modelle [23]

3 Darstellung der erzielten Projektergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die übergeordnete Zielsetzung des durchgeführten Forschungsprojektes (3.1), die Teilziele, das Vorgehen sowie die erarbeiteten Ergebnisse der zehn Arbeitspakete (3.2 bis 3.11) vorgestellt.

3.1 Zielsetzung

Die von der Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie beeinflussten logistischen und wirtschaftlichen Zielgrößen sind entscheidend für den Unternehmenserfolg von KMU. Die Liefertermintreue und die Lieferzeit sind unmittelbar kaufentscheidende Kriterien für Kunden. Aufgrund der Vielzahl der Wechselwirkungen bei der Wahl ist es für KMU jedoch kaum absehbar, welche Auswirkungen zu erwarten sind. Bisherige Ansätze adressieren zumeist wenige oder qualitative Kriterien.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es daher, logistische Modelle in Zusammenhang mit der Auftragsabwicklungsstrategie zu bringen, Modelllücken zu schließen und die logistischen Modelle anschließend in einem umfassenden Entscheidungsunterstützungsmodell zu integrieren, welches dem Anwender ein nachvollziehbares, quantifiziertes Ergebnis zur Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie liefert.

Das im Forschungsprojekt entwickelte Entscheidungsunterstützungsmodell soll KMU bei der Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie helfen. Dabei ist unter Einhaltung der Marktanforderungen und logistischer Zielwerte die Auftragsabwicklungsstrategie mit den niedrigsten Logistikkosten zu wählen. Zur praxistauglichen und aufwandsarmen Anwendbarkeit der Forschungsergebnisse ist das Entscheidungsunterstützungsmodell in einen Softwaredemonstrator zu überführen. So soll eine breite Anwendung in KMU sichergestellt werden.

Die Vorgehensweise während des Forschungsprojektes entsprach den zehn beantragten und bewilligten Arbeitspaketen, die im Folgenden ausführlich dargestellt werden (vgl. Abbildung 3-1).

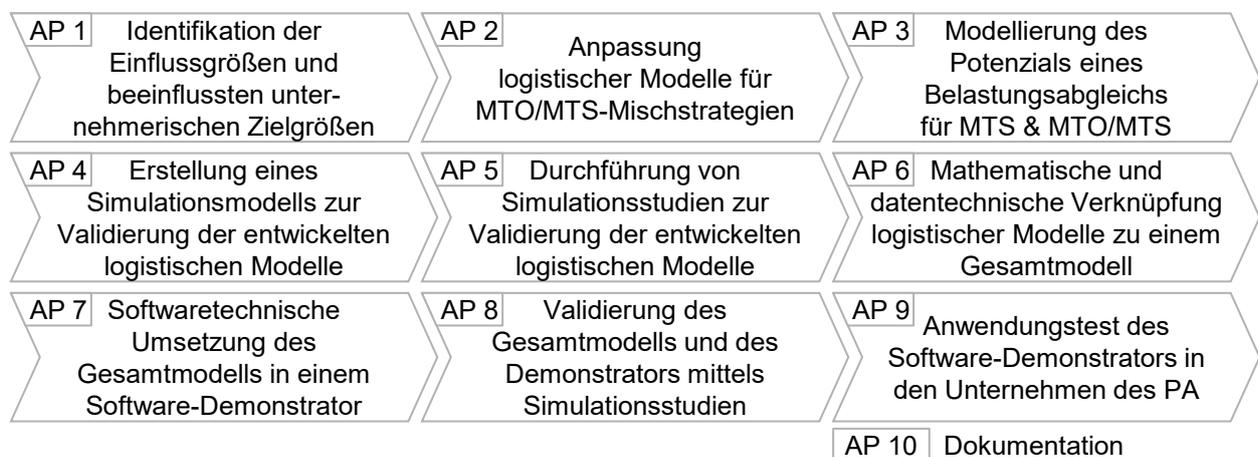


Abbildung 3-1: Arbeitspaketstruktur des vorliegenden Forschungsvorhabens

3.2 Arbeitspaket 1: Identifikation der Einflussgrößen und beeinflussten unternehmerischen Zielgrößen

Ziel:

Ziel des ersten Arbeitspakets war die Erarbeitung von Einflussgrößen und unternehmerischen Zielgrößen, welche von der Auswahl der Auftragsabwicklungsstrategie beeinflusst werden. Die identifizierten Größen wurden anschließend miteinander in einen logischen Zusammenhang gebracht.

Vorgehen:

Die Identifikation der mit der Auftragsabwicklungsstrategie in Verbindung stehenden Einfluss- und Zielgrößen erfolgte durch eine umfassende Literaturrecherche des deutsch- und englischsprachigen Raumes sowie durch eine Befragung der Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses im Rahmen der Kick-off-Veranstaltung des Forschungsprojektes. Der projektbegleitende Ausschuss setzt sich aus Experten aus produzierenden Unternehmen, welche im heutigen Planungsumfeld vor der Herausforderung stehen, die für ihr Unternehmen und das jeweilige Produkt bestmögliche Auftragsabwicklungsstrategie unter Berücksichtigung der zahlreichen Wechselwirkungen zu bestimmen, sowie Beratungsunternehmen zusammen. In einem zweiten Schritt erfolgte eine analytisch-deduktive Verknüpfung aller relevanten Einfluss- und Zielgrößen. Kausal diagramme [24] wurden für einen Abgleich zwischen den identifizierten Wirkzusammenhängen und den existierenden Modellen zur mathematisch formalen Beschreibung der Wirkzusammenhänge sowie zur Identifikation von Modelllücken genutzt. Ergänzend wurde im Rahmen eines Treffens des projektbegleitenden Ausschusses über die aktuellen Vorgehensweisen von Unternehmen zur Zuordnung von Auftragsabwicklungsstrategien zu Produkten in der industriellen Praxis sowie über die Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die zuvor identifizierten Größen diskutiert. Hierdurch konnten zusätzliche Ideen und Bewertungsansätze zur Lösungsfindung herausgearbeitet werden.

Ergebnis:

Als Ergebnis des ersten Arbeitspaketes liegt ein Katalog aller in direktem Zusammenhang mit der Auftragsabwicklungsstrategie stehenden Einfluss- und Zielgrößen vor (vgl. Abbildung 3-2). Die Zielgrößen wurden in wirtschaftliche und logistische Größen eingeteilt. Basierend auf den Untersuchungen von OLHAGER [1] wurden die Einflussgrößen in die drei Bereichen Markt, Produkt und Produktion unterschieden. Der Bereich Markt wurde zusätzlich in lieferantenbezogene, kundenbezogene und wettbewerbsbezogene Größen untergliedert. Die Ergebnisse der Untersuchung der Effekte der identifizierten Größen in Bezug auf die Auftragsabwicklungsstrategie (Abbildung 3-3) dienen als Grundlage für Kausaldiagramme. Die entwickelten Kausaldiagramme beschreiben die qualitativen Wirkzusammenhänge zwischen den identifizierten Größen und den Auftragsabwicklungsstrategien.

Größe	Einflussgröße					Zielgröße				
	Produkt	Produktion	Markt			Wirtsch.		Logistisch		
			Lieferant	Kunde	Wettbewerb	Produktivität	Prozesskosten	Bestand	Work-in-Process	Auslastung
Produktwert	x							x		
Deckungsbeitrag des Produktes	x							x		
Anteil am Umsatz	x							x		
Lagerhaltungskosten	x							x		
Lagerfähigkeit	x							x		
Produktlebenszyklus	x							x		
Zuordnung zum Standardportfolio	x							x		
Grad der Mehrfachverwendung der Komponenten	x							x		
Variantenanzahl	x							x		x
Vernetzung der Arbeitsschritte	x							x	x	x
Komplexität der Arbeitsschritte	x							x	x	
Dauer der Arbeitsschritte	x							x		
Auslastung			x			x				x
Vorhandene Kapazität (Mensch/Maschine)			x			x			x	x

Abbildung 3-2: Auszug der identifizierten Einfluss- und Zielgrößen

Größe	MTS		MTO
	Negativ	Positiv oder kein Effekt	Negativ
Produktwert	Bei hohem Wert		
Deckungsbeitrag des Produktes		x	Bei hohem Wert
Anteil am Umsatz		x	Bei hohem Wert
Lagerhaltungskosten	Bei hohem Wert		
Lagerfähigkeit	Bei geringem Wert		
Produktlebenszyklus	Bei Einführung & Degeneration		Bei Wachstum & Sättigung
Zuordnung zum Standardportfolio	Falls nein		
Grad der Mehrfachverwendung der Komponenten	Bei hohem Wert		
Variantenanzahl	Bei hohem Wert		
Vernetzung der Arbeitsschritte		x	Bei hohem Wert
Komplexität der Arbeitsschritte		x	Bei hohem Wert
Dauer der Arbeitsschritte		x	Bei hohem Wert
Auslastung		x	Bei schwankendem Wert
Vorhandene Kapazität (Mensch/Maschine)		x	Bei schwankendem Wert
Gewünschte Kapazitätsflexibilität		x	Bei hohem Wert
Lagerkapazität	Bei geringem Wert		
Möglichkeit der Fremdvergabe		x	Bei geringem Wert
Notwendigkeit von Fremdleistungen		x	Bei hohem Wert
Schwankung der internen Nachfrage		x	Bei hohem Wert
Schwankung der Durchlaufzeit		x	Bei hohem Wert
Prozessqualität		x	Bei geringem Wert
Standardisierung der Abläufe		x	Bei geringem Wert

Abbildung 3-3: Auszug der Einordnung der Effekte der identifizierten Größen basierend auf der Auftragsabwicklungsstrategie

3.3 Arbeitspaket 2: Anpassung logistischer Modelle für MTO-/MTS-Mischstrategien

Ziel:

Ziel des zweiten Arbeitspakets war die quantitative, modellbasierte Beschreibung der Wirkzusammenhänge logistischer Zielgrößen für MTO-/MTS-Mischstrategien.

Vorgehen:

Zur Identifizierung existierender Auftragsabwicklungsstrategien wurde eine umfassende Literaturrecherche des deutsch- und englischsprachigen Raumes durchgeführt. Obwohl bei Auftragsabwicklungsstrategien, deren Kundenauftragsentkopplungspunkt in der unternehmensinternen Lieferkette vor MTO liegt, keine Wahlmöglichkeit für Unternehmen zulassen, wurden diese Strategien im Rahmen der Literaturrecherche zur Erstellung einer ganzheitlichen Übersicht zu den Auftragsabwicklungsstrategien sowie zur Abgrenzung des Betrachtungsgegenstandes berücksichtigt. Darüber hinaus wurden der Ablauf der Fertigungssteuerung und der Einsatz von MTO-/MTS-Mischstrategien in den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses mithilfe von Fragebögen erfasst. Basierend auf den Resultaten dieser Befragung wurden Experteninterviews mit ausgewählten Unternehmen geführt. Anschließend wurden die identifizierten Auftragsabwicklungsstrategien in Abhängigkeit des Kundenauftragsentkopplungspunkts entlang der unternehmensinternen Lieferkette verortet (Abbildung 3-4).

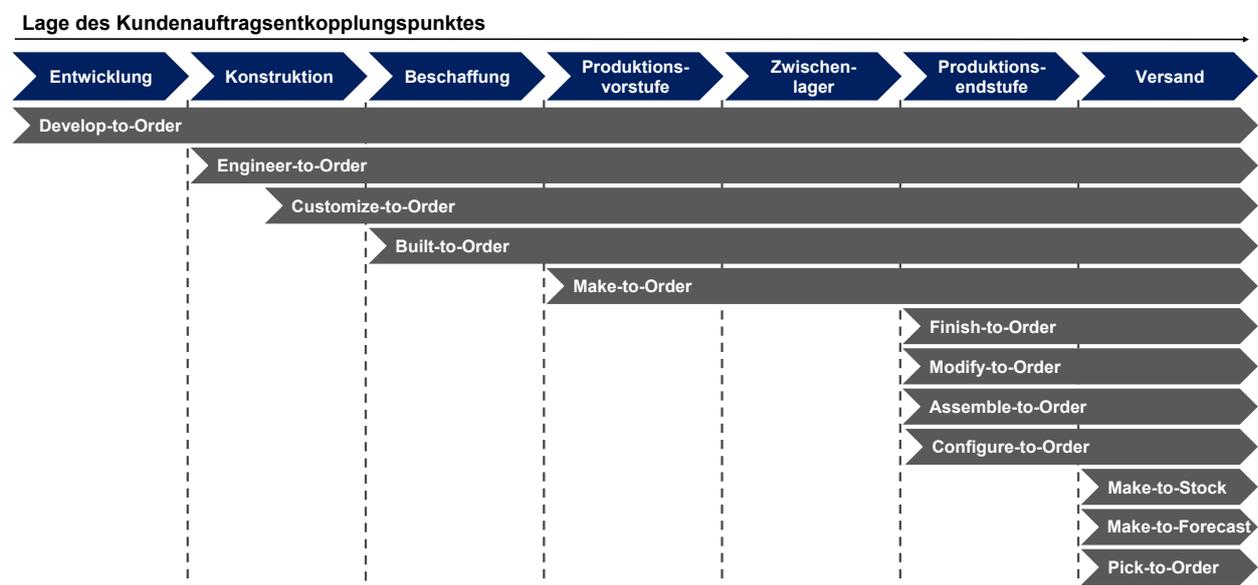


Abbildung 3-4: Auftragsabwicklungsstrategien sortiert nach der Lage des Kundenauftragsentkopplungspunkts [25]

Darüber hinaus wurden die MTO-/MTS-Mischstrategien systematisch beschrieben und deren Entstehungspunkte sowie die zugehörigen logistischen Modelle im Hannoveraner Lieferkettenmodell verortet. Nach der Aufbereitung wurden die Ergebnisse auf einem Arbeitstreffen des pro-

jektbegleitenden Ausschusses diskutiert und ergänzt. Da in Arbeitspaket 1 die Wirkzusammenhänge nur basierend auf den Auftragsabwicklungsstrategien MTO, ATO und MTS herausgearbeitet wurden, wurde ihre Anwendbarkeit auf die ermittelten MTO-/MTS-Mischstrategien untersucht und erweitert. Es wurde ein MTO- und ein MTS-Standardszenario festgelegt, da sich für eine MTO- und MTS-Produktion die Zielgrößen sowie die zu deren mathematischer Beschreibung existierenden logistischen Modelle unterscheiden. Die Analyse der Auswirkungen der einzelnen Mischstrategien auf die wirtschaftlichen und logistischen Zielgrößen erfolgte ausgehend von diesen Standardszenarien. Existierende logistische Modelle quantifizieren die Wirkzusammenhänge zwischen logistischen Einfluss- und Zielgrößen bisher lediglich für eine MTO- oder MTS-Produktion. Beispielsweise zeigen Lagerkennlinien den Zusammenhang zwischen dem vorzuhaltenden Fertigwarenbestand und dem Servicegrad im Fertigwarenlager für eine MTS-Produktion auf [26], während die Termineinhaltungskennlinie die Abhängigkeiten zwischen der Fertigwarenbestandsgröße und der Liefertermineinhaltung für eine MTO-Produktion mathematisch beschreibt [27]. Die Anwendbarkeit der existierenden logistischen Modelle wurde auf die identifizierten MTO-/MTS-Mischstrategien hin überprüft. So konnten Modellgrenzen aufgezeigt und gezielt existierende logische Modelle, die sich durch ihre Kombinationen zur Analyse der Mischstrategien eignen, ausgewählt werden. Gemeinsam mit einem Unternehmen wurde eine umfassende Studie zur Analyse der durch den Wechsel der Auftragsabwicklungsstrategie oder durch Mischstrategien hervorgerufenen Veränderungen der Kennlinienverläufe und Arbeitspunkte von logistischen Modellen durchgeführt [28]. Unter anderem wurde die Nutzung des gleichen Halbfabrikats für zwei Endprodukte mit unterschiedlichen Auftragsabwicklungsstrategien sowie der Wechsel von MTS zu MTO und umgekehrt untersucht. Die Ergebnisse wurden im Rahmen eines Arbeitstreffens mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses diskutiert. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere die Entstehungspunkte von Mischstrategien sowie die in der industriellen Praxis vorliegenden Prioritäten verschiedener Auftragsabwicklungsstrategien thematisiert. Die Ergebnisse der Modellierungsarbeiten wurden in Arbeitspaket 6 in das Gesamtmodell überführt.

Ergebnis:

Als Ergebnis des zweiten Arbeitspaketes liegt eine Übersicht existierender Auftragsabwicklungsstrategien sowie eine systematische Beschreibung von MTO-/MTS-Mischstrategien vor. Darüber hinaus existiert eine tabellarische Auflistung der Auswirkungen der einzelnen Mischstrategien im Vergleich zu einem MTO- und einem MTS-Standardszenario sowie eine qualitative Modellierung der durch den Wechsel der Auftragsstrategie sowie durch Mischstrategien hervorgerufenen Veränderungen der Kennlinienverläufe und Arbeitspunkte in den logistischen Modellen. Die quantitative Modellierung erfolgte beispielhaft in einem Unternehmen.

3.4 Arbeitspaket 3: Modellierung des Potenzials eines Belastungsabgleichs für MTS & MTO/MTS

Ziel:

Ziel des dritten Arbeitspakets war die Modellierung des Potenzials für einen Belastungsabgleich für die MTS- und MTO-Produktion und die Prüfung der Anwendbarkeit auf die in Arbeitspaket 2 identifizierten Mischformen.

Vorgehen:

Aufgrund schwankender Nachfragemengen entspricht in der industriellen Praxis der Kapazitätsbedarf zeitweise nicht dem Kapazitätsangebot. Sofern keine kurzfristige Anpassung der Kapazitäten möglich ist, sollte ein Belastungsabgleich erfolgen. Dies kann beispielsweise durch den Auf- und Abbau von Lagerbeständen erfolgen [29], wozu entsprechend angepasste Sicherheitsbestände vorzuhalten wären. Diese Maßnahme kann bei der Entscheidung für eine MTS-Produktion genutzt werden. Das dabei gegenüber einer MTO-Produktion somit erzielbare Potenzial wurde in diesem Arbeitspaket in Abhängigkeit des erforderlichen Bestands modellbasiert beschrieben. Dafür wurde eine Quantifizierung der Belastungsflexibilität als Kennzahl des Potenzials des Belastungsabgleichs entwickelt. Weiterhin wurden Einflussgrößen auf die Belastungsflexibilität im Kontext der Auftragsabwicklungsstrategie identifiziert.

Eine Maßnahme zum Belastungsabgleich bei der MTO-Produktion stellt das Zusammenfassen oder zeitliche Verschieben von Aufträgen dar [29]. Die Auswirkungen auf den Pufferbestand im Versand sowie die Lieferzeit wurden ebenfalls modelliert. Darüber hinaus wurde in diesem Arbeitspaket die Auswirkung der Anzahl hochpriorisierter MTO-Schnellläuferaufträge respektive Eilaufträge bei MTO-/MTS-Mischstrategien auf die Dimensionierung der MTS-Sicherheitsbestände modelliert. Die Grundlage hierfür stellt die Modellierung der zulässigen Anzahl von Eilaufträgen in der MTO-Produktion von TRYZNA dar [30].

Die Entwicklung der Wirkmodelle sowie eine Plausibilitätsprüfung wurden in Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss in separaten Experteninterviews sowie den Treffen des projektbegleitenden Ausschusses vorgenommen.

Ergebnis:

Das Ergebnis des dritten Arbeitspakets stellen Wirkmodelle für das Potenzial eines Belastungsabgleiches sowie des Einflusses von Eilaufträgen auf die Dimensionierung von MTS-Sicherheitsbeständen dar.

Um Kapazitätsbedarf und -nachfrage in Einklang zu bringen, können verschiedene Maßnahmen der Kapazitätsabstimmung getroffen werden [29]. Nicht betrachtet werden Kapazitätsanpassun-

gen oder Belastungsanpassungen. Im Zusammenhang mit der Auftragsabwicklungsstrategie stehen ein zeitlicher Abgleich sowie ein Bestandsabgleich als Möglichkeiten des Belastungsabgleiches zur Verfügung (vgl. Abbildung 3-5).

		Belastungsabgleich	
		Zeitlicher Abgleich	Bestandsabgleich
Reaktionszeit	kurz	Lose splitten, Vorziehen bzw. Aufschieben von Aufträgen	Auf- und Abbau von Beständen
	mittel	Lose splitten, Vorziehen bzw. Aufschieben von Bedarfen	
	lang		

Abbildung 3-5: Möglichkeiten des Belastungsabgleiches [31]

Während ein Bestandsabgleich über den Auf- und Abbau von Beständen nur bei MTS oder ATO möglich ist, ist der zeitliche Abgleich durch das zeitliche Verschieben oder das Zusammenfassen von Aufträgen oder Bedarfen bei allen Auftragsabwicklungsstrategien möglich.

Die Wirkzusammenhänge des zeitlichen Abgleichs lassen sich dabei aus den Termineinhaltungskennlinien herleiten [27]. Wie sich eine Verzögerung oder ein Vorziehen in Bezug auf den Soll-Fertigstellungstermin auf den Pufferbestand sowie die Lieferzeit auswirkt, ist in Abbildung 3-6 dargestellt. Angenommen wird eine Rückwärtsterminierung vom Soll-Liefertermin. Unter Berücksichtigung einer Sicherheitszeit sowie der Plan-Durchlaufzeit ergibt sich ein Plan-Freigabetermin. Wird dieser im Rahmen des Belastungsabgleichs vorgezogen oder aufgeschoben, resultiert ein vom Soll-Fertigstellungstermin abweichender Plan-Fertigstellungstermin. Liegt dieser durch ein Vorziehen vor dem Soll-Fertigstellungstermin, verbleibt der fertiggestellte Auftrag länger als bestandswirksam im Versandlager, wodurch die Bestandskosten steigen. Das Vorziehen von Aufträgen wird durch den dispositiven Vorlauf begrenzt. Dieser ergibt sich als Differenz zwischen dem Bekanntheitstermin des Auftrags und dem Plan-Freigabetermin [32]. Die Lieferzeit wird in diesem Fall nicht beeinflusst, da der Auftrag erst am Soll-Lieferdatum versendet wird.

Wird hingegen verzögert, können zwei Szenarien auftreten. Ist die Verzögerung kleiner als die Sicherheitszeit bleibt die Lieferzeit unverändert, der Pufferbestand ist aber geringer, da der Auftrag kürzer vor dem Soll-Liefertermin abgeschlossen wird. Erst wenn die Verzögerung größer ist als die Sicherheitszeit, erhöht sich die Lieferzeit proportional zur Differenz aus der Verzögerung und der Sicherheitszeit.

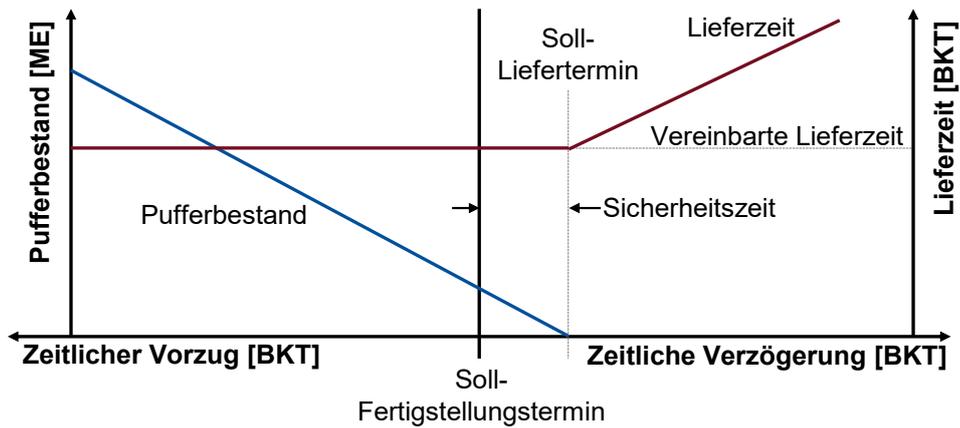


Abbildung 3-6: Auswirkungen eines zeitlichen Belastungsabgleichs auf Lieferzeit und Pufferbestand

Der Bestandsabgleich (vgl. Abbildung 3-5 rechts) wird erst über eine Lagerhaltung von Fertigwaren oder Halbfabrikaten gemäß MTS bzw. ATO ermöglicht. Bei ATO bezieht sich diese Möglichkeit jedoch nur auf den vorgelagerten, kundenauftragsanonymen Auftragsdurchlauf. Bei dem Bestandsabgleich wird im Falle von Kapazitätsüberschuss Bestand aufgebaut und bei Kapazitätsmangel Bestand aufgebaut. Kapazitätsangebot- und -nachfrageverläufe sowie die resultierende relative Bestandsentwicklung sind schematisch in Abbildung 3-7 dargestellt.

Zur Beschreibung des logistischen Potenzials eines Belastungsabgleichs wurde untersucht, welche Auswirkungen ein solcher Belastungsabgleich hat, wie dieser quantifizierbar ist und welche die zentralen Einflussgrößen auf dieses Potenzial sind.

Die Erhöhung der Möglichkeit eines Belastungsabgleichs resultiert in einer höheren Belastungsflexibilität. Somit kann eine hohe Belastungstreuung, die durch Nachfrageschwankungen induziert wird, geglättet werden, ohne Aufträge zu verzögern. Zudem können schon bei niedrigen Beständen und damit kurzen Durchlaufzeiten eine hohe Auslastung erreicht werden.

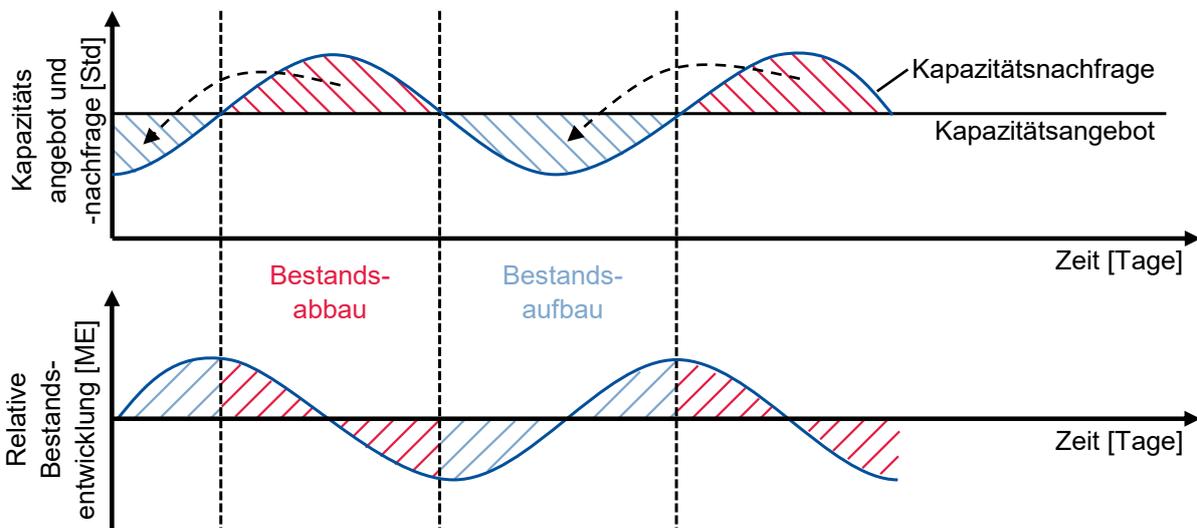


Abbildung 3-7: Schematischer Ablauf des Bestandsabgleiches

Zur Quantifizierung von Belastungsstreuung bietet sich eine flächenbasierte Kennzahl gemäß BUSSE an [33]. Dazu wird die Gerade der mittleren Belastung parallel nach unten verschoben, bis sie den niedrigsten Fußpunkt der Zugangskurve trifft (vgl. Abbildung 3-8).

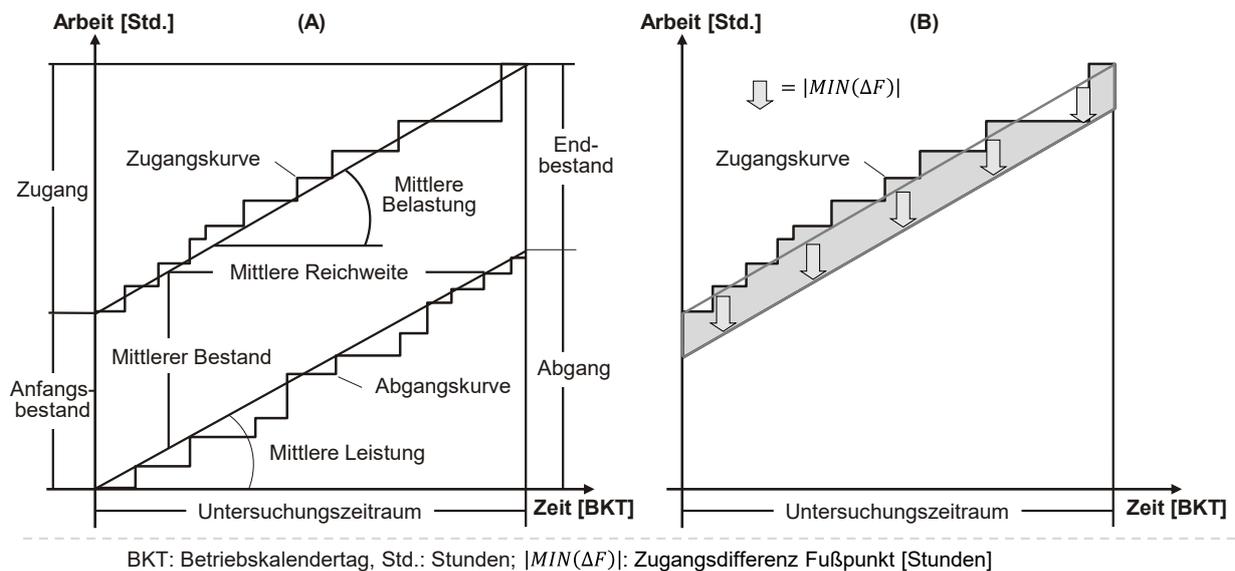


Abbildung 3-8: (A) Durchlaufdiagramm [34] – (B) flächenbasierte Berechnung von Belastungsstreuung [33]

Die eingeschlossene Fläche wird als Grenzauslastungsfläche bezeichnet, da sie der Bestandsfläche entspricht, die bei einer starren Kapazität notwendig ist, um einer Vollausslastung zu gewährleisten [33]:

$$BS = \frac{1}{UZ} * \int_{t=T_0}^{UZ} (ZU(t) - (Bel_m * t - |\text{MIN}(\Delta F)|)) dt \quad (1)$$

mit

BS mittlere Übergangszeit eines Eilauftrags / BKT

UZ Untersuchungszeitraum

$ZU(t)$ Zugang zum Zeitpunkt t (kumulierter Arbeitsinhalt der zugehenden Arbeitsvorgänge über der Zeit) / Std.

Bel_m mittlere Belastung / Std./BKT

ΔF Zugangsdifferenz Fußpunkt / Std.

T_0 Beginn des Untersuchungszeitraums / BKT

Um das Potential eines Belastungsabgleiches zu quantifizieren, wurde auf Basis der flächenbasierten Belastungsstreuungskennzahl eine Kennzahl der Belastungsflexibilität entwickelt. Die externen Bedarfsschwankungen, die die Nachfrageschwankungen des Markts widerspiegeln, können durch mehrere Instanzen gedämpft werden (vgl. Abbildung 3-9). Zentrale Einflussgrößen auf dieses Potenzial ist die Verteilung der Nachfrage nach Erzeugnissen, die aus dem Lager bedient werden können und somit nicht notwendigerweise die Kapazität des Produktionssystems belasten. Dieses ist steuerbar über die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie. Je höher die entsprechenden Lagerbestände sind, desto unwahrscheinlicher ist es, dass trotz der Bedienbarkeit aus dem Lager Lagerauffüllaufträge erzeugt werden müssen, die wiederum kurzfristig die Kapazitäten belasten. Somit ergibt sich die Bestandsdimensionierung als zweite Steuergröße. [31]

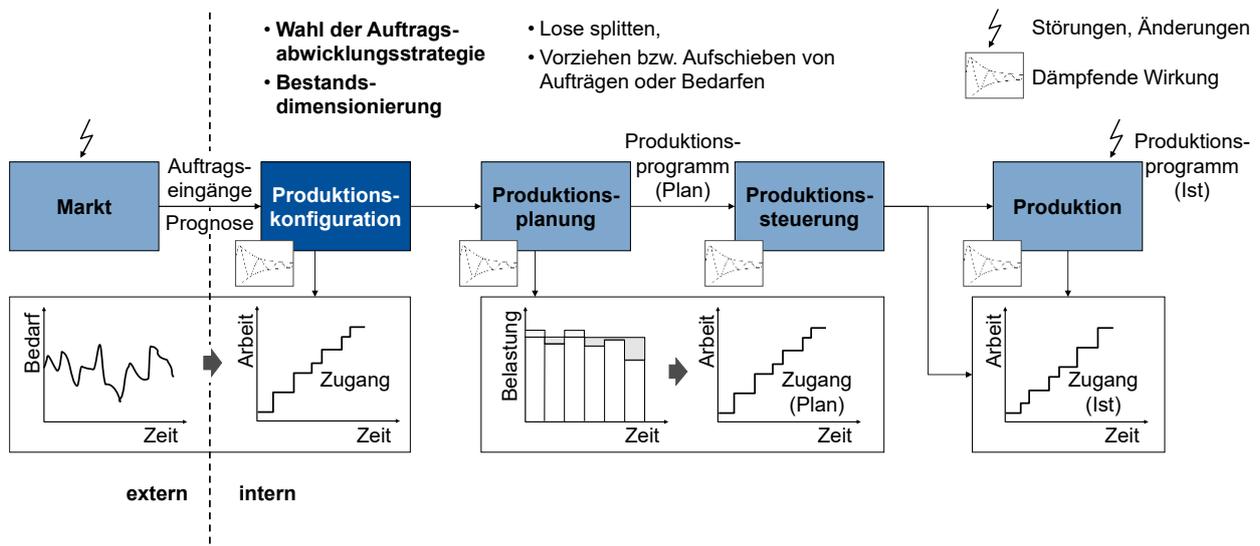


Abbildung 3-9: Ursachen von Belastungsstreuung und Möglichkeiten des Belastungsabgleichs [31 in Anlehnung an 33]

In Abhängigkeit der Lage eines betrachteten Arbeitssystems kann an jedem Arbeitssystem eine interne Belastungsstreuung gemessen werden. Die Belastungsflexibilität bezogen auf ein Arbeitssystem lässt sich daher wie folgt quantifizieren: [31]

$$BF = \frac{BS_{ext} - BS_{int}}{BS_{ext}} \quad (2)$$

mit

- BF Belastungsflexibilität in Relation zu einem Arbeitssystem / %
 BS_{ext} externe Belastungsstreuung / Std.
 BS_{int} gedämpfte Belastungsstreuung an einem Referenzarbeitssystem / Std.

Die Anzahl an Eilaufträgen wirkt sich auf die Terminabweichungsverteilung und die Durchlaufzeiten aller anderen Aufträge aus. Die Durchlaufzeiten von Normalaufträgen, welche die Wiederbeschaffungszeit für Lageraufträge darstellt, verlängert sich proportional zum Anteil der Eilaufträge. In Anlehnung an die Modellierung nach TRZYNA [30] lässt sich die Übergangszeit sowie Durchlaufzeit von Eilaufträgen folgendermaßen berechnen [35]. Die Konkurrenzwahrscheinlichkeit von Eilaufträgen ist dabei vernachlässigbar, sofern der Eilauftragsanteil am Arbeitsanteil 30% nicht übersteigt [36,37,30].

$$ZUE_{m,Eil} = \begin{cases} ZUE_{min} + \frac{ZDF_m * (1 + ZDF_v^2)}{2}, & \text{für } ZUE_m \geq \frac{ZDF_m * (1 + ZDF_v^2)}{2} + ZUE_{min} \\ ZUE_m, & \text{für } ZUE_m < \frac{ZDF_m * (1 + ZDF_v^2)}{2} + ZUE_{min} \end{cases} \quad (1)$$

$$ZDL_{m,Eil} = ZDF_m + KWS * ZDF_m + ZUE_{m,Eil} \quad (2)$$

mit

- $ZUE_{m,Eil}$ mittlere Übergangszeit eines Eilauftrags / BKT
 ZUE_{min} minimale Übergangszeit / BKT
 ZDF_m mittlere Durchführungszeit der Auftragsbearbeitung / BKT

ZDF_v	Variationskoeffizient der Durchführungszeit / -
ZUE_m	mittlere Übergangszeit / BKT
$ZDL_{m,Eil}$	mittlere Durchlaufzeit von Eilaufträgen / BKT
ZUE_m	mittlere Übergangszeit / BKT
KWS	Wahrscheinlichkeit für Konkurrenz von Eilaufträgen / %

In Anlehnung an die Gleichgewichtsbedingung nach TRZYNA [30] lässt sich anschließend die mittlere Durchlaufzeit von Normalaufträgen wie folgt berechnen [35]:

$$ZUE_{m,N} = \frac{ZUE_m - \sigma * ZUE_{m,Eil}}{(1 - \sigma)} \quad (3)$$

$$ZDL_{m,N} = \frac{ZUE_m - \sigma * ZUE_{m,Eil}}{(1 - \sigma)} + ZDF_m \quad (4)$$

mit	
$ZUE_{m,N}$	mittlere Übergangszeit eines Normalauftrags / BKT
$ZDL_{m,N}$	mittlere Durchlaufzeit eines Normalauftrags / BKT
ZUE_m	mittlere Übergangszeit / BKT
σ	Eilauftragsanteil am Arbeitsinhalt / -
$ZUE_{m,Eil}$	mittlere Übergangszeit eines Eilauftrags / BKT
ZDF_m	mittlere Durchführungszeit / BKT

Mithilfe der Übergangszeit für Normalaufträge und der mittleren Übergangszeit kann als deren Differenz die Erhöhung der Durchlaufzeit von Normalaufträgen und damit auch der Wiederbeschaffungszeit von Lagerartikeln bestimmt werden:

$$\Delta WBZ = \sum_{i=1}^I ZUE_{m,N} - \sum_{i=1}^I ZUE_m \quad (5)$$

mit	
ΔWBZ	Erhöhung der Wiederbeschaffungszeit eines Lagerartikels durch Eilaufträge [BKT]
$ZUE_{m,N}$	mittlere Übergangszeit eines Normalauftrags / BKT
ZUE_m	mittlere Übergangszeit / BKT
i	Arbeitsvorgang ($i = 1, \dots, I$) / -

Die Priorisierungen von Aufträgen resultieren in häufigeren reihenfolgebedingten Terminabweichungen. Die stärker streuende Terminabweichung und längeren Wiederbeschaffungszeiten sind nunmehr in der Sicherheitsbestandsdimensionierung von Lagerartikeln zu berücksichtigen. Gemäß der Sicherheitsbestandsdimensionierung nach LUTZ [38] lässt sich die durch den Einsatz von Eilaufträgen zusätzlich benötigten Sicherheitsbestände je Produkt berechnen:

$$BL_{S,Eil} = \sqrt{((\Delta TA_{max}^+ + TA_{max}^+) * BR_m)^2 + ((BR_{max} - BR_m) * (\Delta WBZ + WBZ))^2} - \sqrt{(TA_{max}^+ * BR_m)^2 + ((BR_{max} - BR_m) * WBZ)^2} \quad (6)$$

mit	
$BL_{S,Eil}$	Eilauftragsinduzierter Sicherheitsbestand / ME
TA_{max}^+	maximale positive Terminabweichung / BKT
ΔTA_{max}^+	Erhöhung der maximalen positiven Terminabweichung durch Eilaufträge / BKT
BR_m	Mittlere Bedarfsrate / ME/BKT
BR_{max}	Maximale Bedarfsrate / ME/BKT
WBZ	Wiederbeschaffungszeit eines Lagerartikels / BKT

3.5 Arbeitspaket 4: Erstellung eines Simulationsmodells einer unternehmensinternen Lieferkette

Ziel:

Das Ziel des vierten Arbeitspakets ist die Erstellung eines Simulationsmodells zur Abbildung der Auswirkungen der Auftragsabwicklungsstrategie auf unternehmerische Zielgrößen in der unternehmensinternen Lieferkette.

Vorgehen:

Hierfür wurde ein Tool mittels Visual Basic for Applications (VBA) programmiert, welches alle Eingangswerte für das Simulationsmodell nach Maßgaben per Zufall generiert. Zunächst werden Arbeitspläne für eine beliebige Anzahl Erzeugnisse mit Rüst- und Bearbeitungszeiten, die innerhalb eines einstellbaren Wertebereich liegen, erstellt. Die Erzeugnisse können dabei über zufällig verteilt über bis zu 10 Arbeitssysteme laufen. Die Kapazitätsstruktur kann über einen Schichtkalender, die Anzahl Schichten pro Betriebskalendertag sowie die Nettobetriebszeit in Stunden pro Schicht angegeben werden. Kundenaufträge können bspw. nach beliebigen Nachfragestrukturen, Verteilungen der Stückzahlen, Verteilungen der Bekanntheitstermine und Verteilungen der Lieferzeit generiert werden. Aus weiteren Eingangsdaten werden in weiteren Modulen zudem Planwerte wie bspw. für Sicherheitsbestände, Meldebestände und Losgrößen dimensioniert. Für die einzelnen Erzeugnisse kann folglich jeweils eine beliebige Auftragsabwicklungsstrategie sowie eine individuelle Lage des KEP innerhalb der Lieferkette gewählt werden. Aus diesen Informationen wird schlussendlich ein Produktionsplan erstellt, dessen Plan-Daten als Input für das eigentliche Simulationsmodell dient.

Gemäß der VDI-Richtlinie 3633 wurde ein Simulationsmodell einer unternehmensinternen Lieferkette erstellt. Dafür wurden Produktionsplanungs- und -steuerungslogiken implementiert, die unterschiedliche Auftragsabwicklungsstrategien abbilden. Das Simulationsmodell enthält dabei mehrere miteinander verknüpfte Module. Die Auftragsfreigabe gibt die Produktionsaufträge entweder nach Termin oder bestandsregelnd frei. Im Werkstattbereich werden die Aufträge gemäß den Arbeitsplänen geroutet und gemäß ihrer Plan-Termine abgearbeitet. Für alle ATO- und MTS-Erzeugnisse wurden Lagermodule vorgesehen. Bei Unterschreiten der Meldebestände werden Lagerauffüllaufträge für die Halbfabrikate bzw. Enderzeugnisse ausgelöst. Zudem gibt es ein Versandmodul, das den Versand an die Kunden übernimmt. Für alle genannten Module werden für alle Transaktionen wie Auftragsfreigabe, Auftragsbearbeitung, Einlagerung und Auslagerung Zeitstempel für die nachgelagerte Datenauswertung gespeichert.

Des Weiteren wurde für die Datenauswertung ein umfassender Workflow mit KNIME® programmiert. Input sind sowohl die Plan-Daten aus der Produktionsplangenerierung als auch die Ist-

Daten aus dem Simulationsmodell. Durch das Auswertungstool lassen sich aggregierte Auswertungen für den gesamten Produktionsbereich wie auch detailliertere Auswertungen auf Arbeitssystemebene bzw. Erzeugnisebene extrahieren.

Ergebnis:

Das Ergebnis des vierten Arbeitspakets ist ein Simulationsmodell zur Untersuchung der in den Arbeitspaketen 2 und 3 entwickelten logistischen Modelle. Dieses wird von einem VBA-basierten Tool zur Produktionsplangenerierung gespeist. Ein KNIME®-basiertes Tool zur Datenauswertung kann zur Auswertung der Simulationsstudien genutzt werden.

3.6 Arbeitspaket 5: Durchführung von Simulationsstudien zur Validierung der Modellierungsarbeiten

Ziel:

Ziel des Arbeitspakets 5 war die Validierung der in den Arbeitspaketen 2 und 3 modellierten Wirkzusammenhänge.

Vorgehen:

Zunächst erfolgte in Anlehnung an die VDI Richtlinie 3633 in einem ersten Schritt die Erstellung eines Versuchsplan für die Validierung der in den Arbeitspaketen 2 und 3 entwickelten Modelle. Dabei war zunächst der Validierungsbedarf zu prüfen. So besteht durch die Deduktion bzw. Kombination neuer Modelle aus bereits validierten Modellen kein weiterer Validierungsbedarf. Eine Validierung bedurfte jedoch das Potenzial eines Belastungsabgleiches über den Auf- und Abbau von Fertigwarenbeständen. Die Validierung erfolgte simulativ.

Ergebnis:

Für diese Simulationsstudie¹ wurde das in Arbeitspaket 4 entwickelte Simulationsmodell verwendet. In diesem Fall wurde ein Arbeitssystem betrachtet, in dem ein Produktportfolio von 50 Produkten hergestellt wird. Jedes Produkt des Produktportfolios ist prinzipiell geeignet, auf Lager gefertigt zu werden. Das Produktionssystem hat keine Kapazitätsflexibilität, da diese die Belastungsflexibilität überlagern würde. Innerhalb des Simulationszeitraumes unterliegt das Produktionssystem einer Nachfrage, die gleich der Kapazität ist. In einem ersten Schritt wird der Zugang mit einem idealen Zugangsverhalten angenommen, in dem die Zwischenankunftszeiten dem Arbeitsinhalt des vorangegangenen Auftrags entsprechen. Zur Modellierung von Belastungsschwankungen werden in einem zweiten Schritt die idealen Zwischenankunftszeiten mit einem Lastschwankungsfaktor nach BUSSE [33] überlagert:

¹ Vergleiche auch die Ausführungen in [31].

$$z(i) = a * \sin\left(\left(\frac{i}{n} * 2\pi + \varphi\right) * p\right) + b \quad (7)$$

mit

- z Belastungsschwankungsfaktor [-]
- i Laufvariable
- a Amplitude [-]
- n Anzahl Aufträge [-]
- φ Phasenverschiebung [-]
- p Anzahl Schwingungen [-]
- b y-Verschiebung der Sinusschwingung [-]

Die externe Belastungsschwankung ergibt sich somit aus der resultierenden Nachfrageschwankung. Es erfolgt eine Ablauf-Simulation, die die hybride Produktion von MTO- und MTS-Produkten simuliert. Die durch die Modellierung der Belastungsschwankungen entstandenen Zwischenankunftszeiten werden in der Simulation als geplante Starttermine betrachtet und die Aufträge terminorientiert abgearbeitet. MTS-Produkte werden nur dann produziert, wenn einer der beiden Fälle eintritt:

- Der Bestand eines MTS-Artikels ist aufgebraucht, sodass dieser Bedarf termindringlich ist.
- Der Starttermin des dringendsten MTO-Auftrags in der Warteschlange liegt mehr als 0,5 Betriebskalendertage in der Zukunft.

Andernfalls wird der nächste MTO-Auftrag vorgezogen.

Die Ergebnisse der Simulationsstudien sind in der Abbildung 3-10 dargestellt.

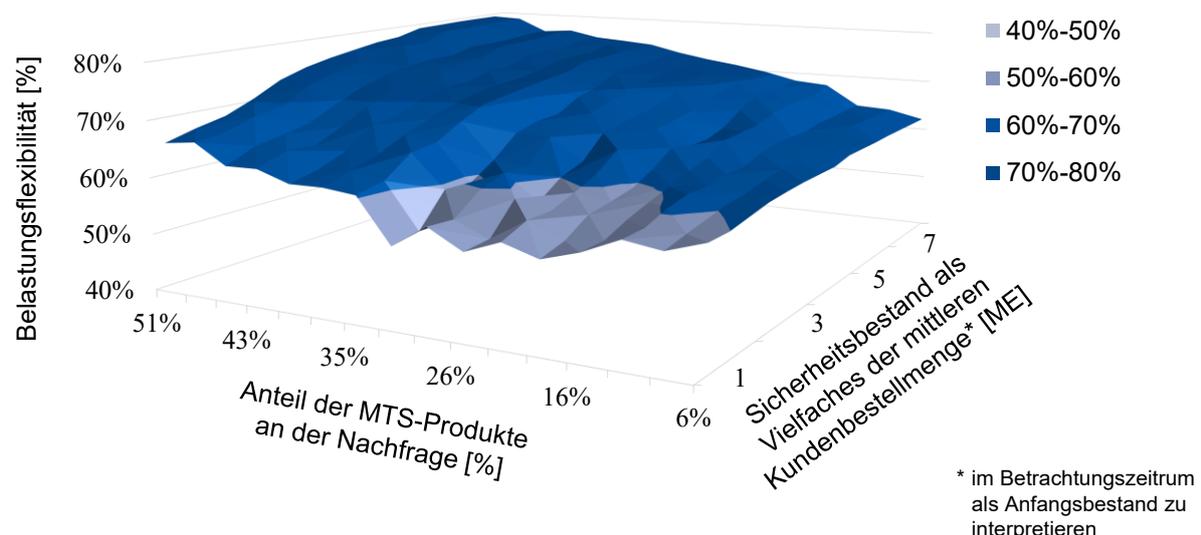


Abbildung 3-10: Simulative Untersuchung der Belastungsflexibilität in Abhängigkeit des Anteils der MTS-Produkte an der Nachfrage und des Bestandsniveaus [31]

Durch die simulative Untersuchung konnte der Zusammenhang zwischen der Nachfragekonstanz nach Lagerartikeln als Anteil der MTS-Produkte an der Nachfrage sowie dem Bestandsniveau

nachgewiesen werden. Die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie kann somit als eine wesentliche Einflussgröße auf die Belastungsflexibilität angesehen werden. Des Weiteren zeigt sich, dass aus unterschiedlichen Konfigurationen die gleiche Belastungsflexibilität resultieren kann. Zum Beispiel kann eine Konfiguration mit einem Anteil von 51% am mittleren rollierenden Bedarf für MTS-Produkten und einem mittleren Sicherheitsbestand von 40 Einheiten pro Lager die gleiche Belastungsflexibilität wie eine Konfiguration mit einem Anteil von 23 % des mittleren rollierenden Bedarfs an MTS-Produkten und einem mittleren Sicherheitsbestand von 130 Einheiten pro MTS-Produkt aufweisen. [31]

3.7 Arbeitspaket 6: Mathematische und datentechnische Verknüpfung eines Gesamtmodells

Ziel:

Ziel des sechsten Arbeitspakets war die Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungsmodells als integrierendes Gesamtmodell zur quantitativen Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie.

Vorgehen:

Im Falle eines breiten Produktportfolios kann der Lösungsraum durch die Festlegung oder den Ausschluss einer Auftragsabwicklungsstrategie beschränkt und somit der Modellierungs- und Rechenaufwand reduziert werden. Dies kann basierend auf speziellen Produkthanforderungen, z.B. kann die Notwendigkeit eines Zertifikats eine MTS-Produktion ausschließen, für jedes Produkt einzeln oder unter Nutzung von Klassifizierungen für ganze Produktgruppen erfolgen. Beispielsweise kann eine ABC-Analyse sowie eine XYZ-Analyse vorgenommen werden, um den Lösungsraum zu beschränken. CX-Produkten, wie z.B. Schrauben, wird meist eine MTS-Produktion zugeordnet, während sich bei BY-Produkten keine Auftragsabwicklungsstrategie direkt anbietet und die im Rahmen dieses Arbeitspaketes entwickelte Vorgehensweise zu Bestimmung angewendet werden kann.

Die Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie auf Endproduktbasis basiert auf der Überprüfung der möglichen Auftragsabwicklungsstrategien und der anschließenden Gegenüberstellung der Kosten der Strategien. Ob eine Auftragsabwicklungsstrategie für das jeweilige Produkt anwendbar ist, lässt sich direkt auf die Einhaltung der wirtschaftlichen und logistischen Zielgrößen zurückführen. Die zuvor erwähnten Klassifizierungen können hierbei als Referenzpunkte für die Festlegung der Werte der Zielgrößen herangezogen werden.

Für die Überprüfung der möglichen Auftragsabwicklungsstrategien sowie die Ableitung der dazugehörigen Kosten werden logistische Modelle genutzt. Der erste Schritt dieses Arbeitspaketes war daher die Auswahl zur Verknüpfung geeigneter Modelle. Anschließend erfolgte die Systematisierung der jeweiligen Input- und Outputgrößen sowie die Analyse der Abhängigkeiten zwischen

den Modellen. Darauf aufbauend wurden die einzelnen Modelle unter der Berücksichtigung der in Arbeitspaket 1 identifizierten Einfluss- und Zielgrößen mathematisch zu einem Gesamtmodell verknüpft. Um das Fundament für den Software-Demonstrator aus Arbeitspaket 7 zu schaffen, wurde zudem eine datentechnische Verknüpfung konzipiert. Diese beinhaltet die Deklaration der Eingangs- und Ausgangsparameter des Gesamtmodells sowie der Übergabeparameter zwischen den einzelnen Modellen. Die Plausibilitätsprüfung des Gesamtmodells sowie der vorgesehenen Eingangs- und Übergabeparameter erfolgt durch Experteninterviews mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses.

Ergebnis:

Das Ergebnis des sechsten Arbeitspaketes ist ein mathematisch und datentechnisch verknüpftes Gesamtmodell zur quantitativen Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie. Mithilfe des Modells kann ein Vergleich verschiedener Auftragsabwicklungsstrategien im Hinblick auf die wirtschaftliche und logistische Zielerreichung vorgenommen werden. Die Forschungshypothese, dass logistische Modelle für die Berechnungen des zu entwickelnden Gesamtmodells herangezogen werden können, wurde in diesem Arbeitspaket belegt. Abbildung 3-11 zeigt den Ablauf zur Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie. Zudem liegt eine Übersicht der Input- und Outputgrößen für die ausgewählten existierenden Modelle, welche bei der Erstellung des Gesamtmodells zur Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen integrierten Modellen genutzt wurden, vor. Nachfolgend wird der Einsatz der logischen Modelle sowie weiterer Modelle skizziert.

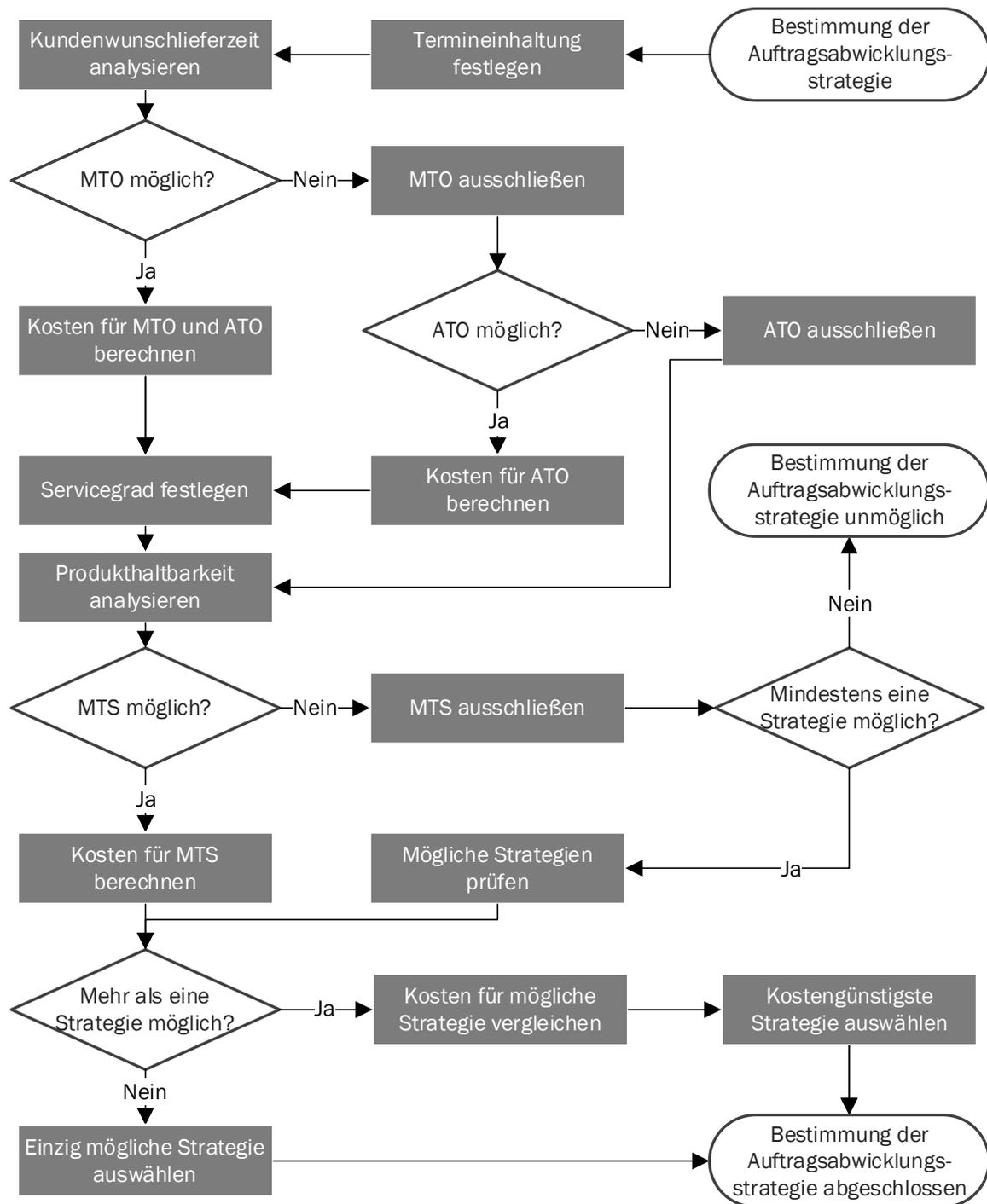


Abbildung 3-11: Vorgehensweise zur Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie

Mithilfe der Termineinhaltungskennlinie [27] wird die Einhaltung der geforderten Lieferterminein-
haltung basierend auf der Kundenwunschliefzeit und den aus dem Terminabweichungshisto-
gramm ableitbaren Angaben zu Terminabweichungen evaluiert und die hierfür notwendige Si-
cherheitszeit berechnet. Da Produktionsunternehmen in viele Fällen mit festen Standardlieferzei-
ten für ihre Produkte arbeiten, wird eine einzige Kundenwunschliefzeit anstelle einer Verteilung
der Wunschliefzeiten genutzt. Diese Kundenwunschliefzeit wird der Summe aus der für die

Auftragsbearbeitung benötigten Zeit, der kundenauftragsspezifischen Durchlaufzeit und der Versandzeit gegenübergestellt. Zur Bestimmung der kundenauftragsspezifischen Durchlaufzeit wird die mittlere Bestellmenge der Kundenaufträge als Produktionslosgröße gesetzt und mit den Vorgabewerte für die kundenauftragsspezifisch durchgeführten Produktionsprozesse sowie den Angaben zu den Übergangszeiten kombiniert. Sofern die Kundenwunschlieferszeit zu der geforderten Liefertermineinhaltung erreichbar ist, werden die Rüstkosten, die Kosten für den Bestand an fertiggestellten Aufträgen sowie eventuell anfallende Lieferverzugskosten kalkuliert. Kann die Kundenwunschlieferszeit bei einer MTO-Produktion eingehalten werden, ist dies automatisch auch bei einer ATO-Produktion möglich und muss nicht separat überprüft werden. Andernfalls erfolgt die gleiche Prüfung mit der für eine ATO-Produktion entsprechend kürzeren kundenauftragsspezifischen Durchlaufzeit.

Bei der Evaluierung der Einhaltung der Produkthaltbarkeit kommen Lagerkennlinien [26] zum Einsatz. Als Lagerabgangsrate dient die mittlere Bestellmenge der Kundenaufträge und als Lagerzugang die Produktionslosgröße. Diese kann entweder eine fixe durch den Produktionsprozess vorgegebene Größe oder ein variabler Parameter sein. Zur Ermittlung der kostenoptimalen Losgröße wird die multikriterielle Losgrößenberechnung nach MÜNZBERG [39] unter Berücksichtigung von eventuell existierenden Mindestlosgrößen und z.B. aufgrund von Ladungsträgern vorliegenden Rundungswerten herangezogen. Ausgehend von dem im Fertigwarenlager geforderten Servicegrad wird dann die mittlere Lagerdauer eines Produktes bestimmt und der angegebenen maximalen Lagerverweildauer gegenübergestellt. Wird diese Dauer nicht überschritten, erfolgt die Ermittlung der Rüstkosten, der eventuell auftretenden Lieferverzugskosten sowie der Lager-, Kapitalbindungs- und Wagniskosten für das Fertigwarenlager. Die Bestandsdimensionierung für das bei allen betrachteten Auftragsabwicklungsstrategien notwendige Rohmateriallager sowie des im Falle einer ATO-Produktion erforderlichen Halbfabrikatelager und die Ableitung der dazugehörigen Kosten erfolgt ebenfalls mithilfe von Lagerkennlinien. Im Rahmen des Kostenvergleichs der möglichen Strategien können durch den Wechsel der Auftragsabwicklungsstrategie unternehmensspezifisch weitere Kosten, wie z.B. durch einen erhöhten Steuerungsaufwand bei einer Verschiebung des Kundenauftragsentkopplungspunkts stromaufwärts in der unternehmensinternen Lieferkette, anfallen. Diese Kosten finden Berücksichtigung beim Transfer des Gesamtmodells in einem Software-Demonstrator in Arbeitspaket 7.

Für die Berechnungen werden entweder historische Daten oder Prognosewerte verwendet. Um die Auswirkungen von Nachfrageschwankungen antizipieren zu können und gleichzeitig eine vorausschauende, aber nicht übereilte Umstellung der Auftragsstrategie zu ermöglichen, schließt eine Sensitivitätsanalyse an die Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie an. Hierfür wird entweder die Bestellmenge einzeln oder in Kombination mit der Anzahl an Bestellungen um einen festgelegten Prozentsatz variiert und die Auftragsabwicklungsstrategie für diese Werte erneut

bestimmt. Die Optimierung für jedes Produkt einzeln, ohne Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen den Produkten, kann das gesamte Produktionssystem negativ beeinflussen. Um dem entgegenzuwirken, sollten weitere Analysen an die Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie anschließen. Im Gesamtmodell wurde daher die Analyse des Potentials für einen Belastungsabgleich integriert und auf weiterführende Aspekte, wie z.B. die notwendige Lagerkapazität im Falle einer MTS-Produktion und den Anteil der Übergangszeit an der Durchlaufzeit im Falle einer MTO-Produktion, ausgewiesen. Abbildung 3-12 gibt einen Überblick über die basierend auf den Modellierungen auf Arbeitspaket 3 entwickelte Vorgehensweise zur Analyse des Potentials eines Belastungsabgleiches.

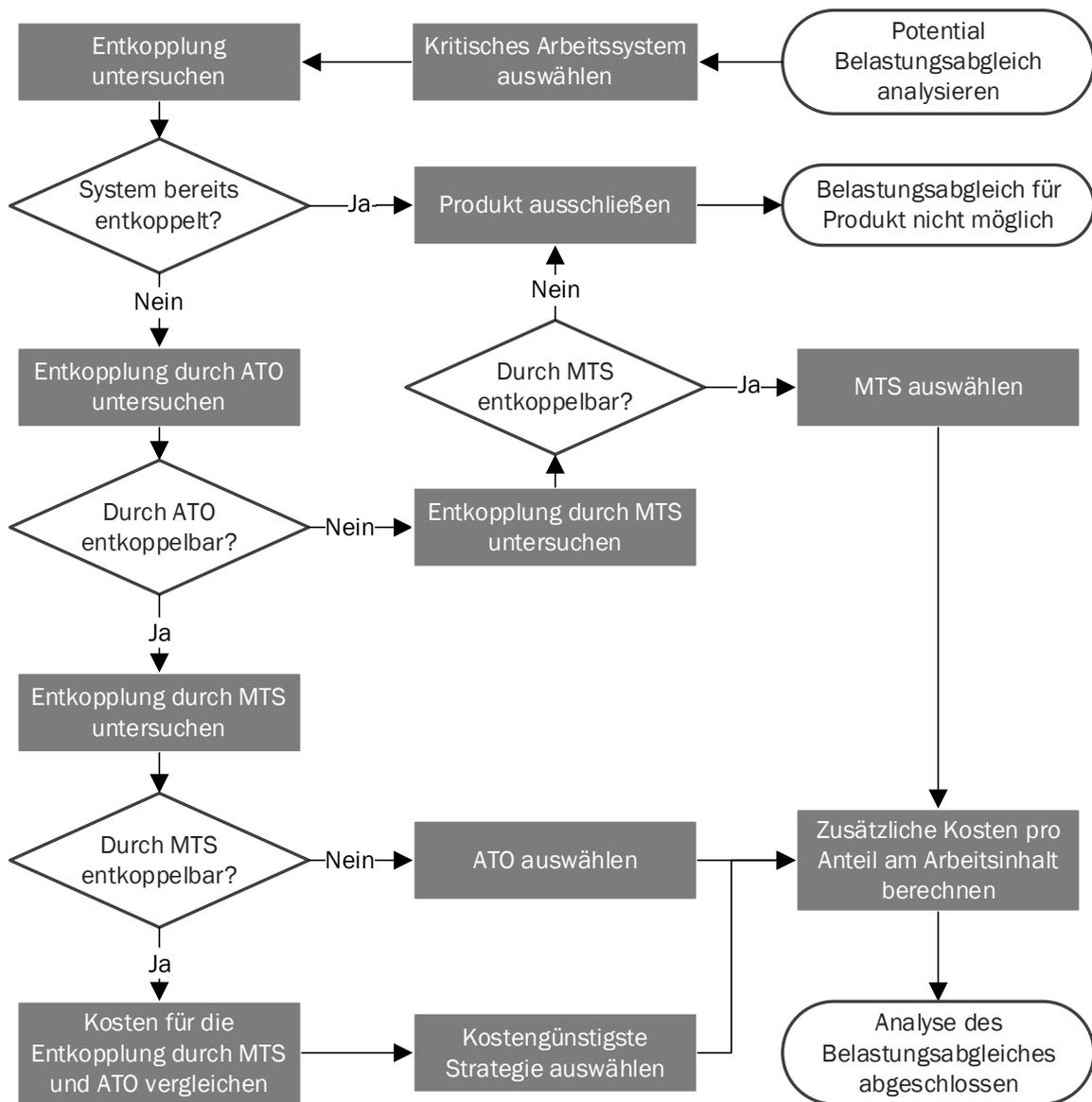


Abbildung 3-12: Vorgehensweise zur Analyse des Potentials des Belastungsabgleiches

3.8 Arbeitspaket 7: Softwaretechnische Umsetzung in einem Software-Demonstrator

Ziel:

Im siebten Arbeitspaket war es das Ziel, einen Software-Demonstrator zu entwickeln, welcher Produktionsunternehmen und insbesondere KUMs zur selbstständigen, wirtschaftlichen, aufwandarmen, ganzheitlichen, transparenten und wissenschaftlich validierten Entscheidung hinsichtlich Auftragsabwicklungsstrategie befähigt.

Vorgehen:

Der Software-Demonstrator wurde in einer Excel-VBA-Anwendung realisiert. Die Entwicklung wurde in Anlehnung an die fünf Phasen der Softwareentwicklung nach DEMARCO [40] durchgeführt. Um die einfache, benutzerfreundliche Anwendbarkeit des Software-Demonstrators in der industriellen Praxis sicherzustellen, erfolgten mehrere Review-Schleifen mit Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses. Im Rahmen der software-technischen Umsetzung wurde der Dateninput für den Software-Demonstrator standardisiert und die entsprechenden Informationen zum Datenbedarf für die Unternehmen aufbereitet. Neben der Bereitstellung von Informationen zum Datenbedarf wurde auch ein Leitfaden (siehe Anhang) erstellt. Dieser erfüllt zwei Funktionen. Zum einen erläutert er mittels anschaulicher, visuell aufbereiteter Beispiele schrittweise die Anwendung des Demonstrators und zum anderen liefert er detaillierte weiterführende Informationen zu Berechnungsformeln und Annahmen. Die Integration des Leitfadens fördert die Anwendbarkeit, Akzeptanz und Erweiterbarkeit und trägt somit zur Ermöglichung einer allgemeingültigen Modellierung und trotzdem für den jeweiligen Anwendungsfall nutzbaren Umsetzung bei.

Ergebnis:

Kernergebnis des siebten Arbeitspakets stellt der entwickelte Software-Demonstrator dar. Dieser steht auf den Homepages der beiden Forschungseinrichtung IFA und PPI zum freien Download zur Verfügung. Für die Programmierung wurde die in Microsoft Excel implementierte Programmiersprache VBA gewählt. Sowohl Microsoft Excel als auch VBA sind in Unternehmen weit verbreitet, sodass ein breiter Nutzerkreis sowie eine eigenständige einfache Anpassung des Software-Demonstrators an die jeweiligen Gegebenheiten im Unternehmen ermöglicht wird. Im Folgenden wird der Software-Demonstrator kurz dargestellt.

Software-Demonstrator

Der Software-Demonstrator kann gemeinsam mit Informationen zum Datenbedarf, Beispieldatensätzen und dem Leitfaden heruntergeladen werden. Der Leitfaden erhält ausführlichen Erklärungen zur Anwendung des Software-Demonstrators sowie Beschreibungen der verwendeten logistischen Modelle. Die Beispieldatensätze werden im Leitfaden aufgegriffen und können vom Anwender zum schnellen einfachen Testen der Funktionen des Softwaredemonstrators verwendet werden.

Nachdem die Microsoft Excel Anwendung geöffnet und die Makros aktiviert wurden, wird die Startoberfläche des Software-Demonstrators angezeigt. Auf der Startoberfläche sind fünf Aktionen für Klicken auf die entsprechenden Buttons möglich (Abbildung 3-13). Eine kurze Beschreibung zu den Aktivitäten befindet sich auf der Startoberfläche.

Bitte wählen Sie aus, was Sie tun möchten.

System konfigurieren Daten einlesen

Vorabanalysen durchführen Auftragsabwicklungsstrategie bestimmen Bestehende Auswertung anzeigen

© Institut für Produkt- und Prozessinnovation 2021 © Institut für Fabrikanlagen und Logistik 2021

Software-Demonstrator zum Forschungsprojekt "MoBAstra" in Kooperation von
LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNEBURG
Leibniz Universität Hannover

Hinweise:

Klicken auf "System konfigurieren":
Die Excel Oberfläche wird ausgeblendet und Sie werden Schritt für Schritt durch einzelnen Abfragen für die Konfiguration des Systems geführt.

Klicken auf "Daten einlesen":
Sie können Schritt für Schritt neue Daten einlesen. Sofern Unstimmigkeiten bei der Überprüfung der Daten erkannt werden, werden Sie gebeten einen neuen Datensatz einzulesen oder manuelle Anpassungen vorzunehmen.

Klicken auf "Vorabanalysen durchführen":
Die Excel Oberfläche wird ausgeblendet und Sie können Schritt für Schritt Vorabanalysen durchführen. Nach dem Abschluss des Berechnungsprozesses haben Sie die Möglichkeit sich die Ergebnisse der einzelnen Analysen

Klicken auf "Auftragsabwicklungsstrategie bestimmen":
Die Excel Oberfläche wird ausgeblendet und Sie werden gebeten Werte für die Zielgrößen Termineinhaltung und Servicegrad anzugeben. Nach dem Abschluss des Berechnungsprozesses gelangen Sie direkt zum Dashboard.

Klicken auf "Bestehende Auswertung ansehen":
Sie gelangen direkt zum Dashboard und können sich die Ergebnisse der zuletzt durchgeführten Berechnung auf verschiedenen Detaillierungsebenen ansehen. Die Anpassung von Parametern ist in diesem Fall nicht möglich.

Bitte beachten Sie, dass Makros aktiviert sein müssen. Das Öffnen der Anwendung kann einige Zeit in Anspruch nehmen. Weiterführende Informationen zum Software-Demonstrator finden Sie im Leitfaden.

Abbildung 3-13: Startoberfläche des Software-Demonstrators

Durch Klicken auf „System konfigurieren“ wird der Anwender durch eine Reihe von Abfragen geleitet. Unter anderem werden die Anzahl der Produktionsstufen, die vorliegenden Kapazitäten und der Lagerkostensatz sowie der Kapitalbindungskostensatz abgefragt. Nach dem Abschluss der Konfiguration können über den Button „Daten einlesen“ die Kundenaufträge sowie Informationen zu den Produkten und den Produktionsprozessen dem Software-Demonstrator in Form von CSV-Dateien hinzugefügt werden. Eine tabellarische Auflistung der benötigten Daten sowie Details zu deren Verwendung im Software-Demonstrator finden sich in der Datei „Informationen zum Datenbedarf“. So können die Daten gezielt aufbereitet und der Aufwand für das Zusammentragen von weiteren Daten in Bezug zur Lösungsgüte gesetzt werden. Nach dem Einlesen der Daten erfolgt automatisch die Überprüfung dieser. Sofern eine Unstimmigkeit festgelegt wird, hat der Anwender die Wahl zwischen dem Einlesen eines neuen Datensatzes oder der manuellen Anpassung der Tabellenblätter. Nach dem erfolgreichen Abschluss der Überprüfung der Daten ist es möglich Analysen zu tätigen. Sofern bereits zu einem vorherigen Zeitpunkt mit dem aktuell vorliegenden Datensatz eine Vorabanalyse, wie z.B. eine ABC-Analyse, oder die Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie vorgenommen wurde, können die Ergebnisse durch Klicken auf „Bestehende Auswertung anzeigen“ abgerufen werden. Ist dies nicht der Fall oder sollen die Analysen mit anderen Parametern erneut durchgeführt werden, sind die beiden verbleibenden Buttons zu nutzen. Über den Button „Vorabanalysen durchführen“ können nacheinander eine ABC-

Analyse, RUS- Analyse, XYZ- Analyse, UVW-Analyse sowie eine Losgrößenberechnung vorgenommen werden. Sofern die entsprechenden Analysen durchgeführt wurden, kann das jeweilige Ergebnis angezeigt und dieses im Rahmen der Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie weiterverwendet werden. Sofern der Anwender mit den Ergebnissen nicht zufrieden ist, hat er die Möglichkeit die Parameter direkt in der Ergebnisdarstellung anzupassen und die jeweilige Klassifizierung somit zu verändern.

Nach dem Abschluss der Vorabanalysen wird der Anwender durch Klicken auf „Auftragsabwicklungsstrategie bestimmen“ durch eine Reihe von Abfragen geleitet. Hierbei kann er die Ergebnisse der Klassifizierungen einzeln oder in Kombination nutzen, um für eine Produktklasse eine Auftragsabwicklungsstrategie festzulegen oder auszuschließen und die Zielwerte für den Servicegrad im Fertigwarenlager sowie die gewünschte Liefertermineinhaltung anzugeben. Zudem wird die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse sowie der Analyse des Potentials eines Belastungsabgleiches abgefragt. Anschließend erfolgt die Berechnung der Kosten aller möglichen Auftragsabwicklungsstrategien. Dieser Vorgang kann je nach Größe des Datensatzes und Rechenleistung einige Zeit in Anspruch nehmen. Nach dem Abschluss der Berechnungen wird dem Anwender eine Übersicht der Ergebnisse angezeigt. Ausgehend von dieser Oberfläche hat der Anwender nun die Möglichkeit sich detaillierte Auswertungen anzusehen. Die Gesamtauswertung liefert eine tabellarische Übersicht der Ergebnisse aller Analysen sowie der Kostenbestandteile und der Lagerbestände. Die Lagerbestände lassen sich durch eine weitere Untergliederungsebene auf die verschiedenen Lagerstufen verteilen. Die Einzelproduktauswertung bietet die Ansicht der Berechnungsergebnisse aller Auftragsabwicklungsstrategien und kann somit zur Einschätzung des Potentials durch die Reduzierung der Werte der logistischen Zielgrößen herangezogen werden. Die Auswertung der Belastungsflexibilität bringt die Produkte in Abhängigkeit ihres Potentials für einen Belastungsabgleich in eine Rangfolge und zeigt die durch die Entkopplung entstehenden zusätzlichen Kosten auf. Aufgrund der Vielschichtigkeit der Auswertungsmöglichkeiten sowie der Anzahl an möglichen Konfigurationen, ist keine Schnittschnelle zum direkten Transfer der Berechnungsergebnisse oder ähnliches vorgesehen. Die Entscheidung über einen Wechsel der Auftragsabwicklungsstrategie sowie die Einführung von eventuellen Maßnahmen zur Verbesserung der Logistikleistung sollte nach wie vor der Disponent aufgrund von ihm eventuell zusätzlich vorliegenden Informationen, wie z.B. der geplanten Einführungen einer neuen Variante, treffen.

3.9 Arbeitspaket 8: Validierung des Gesamtmodells und des Demonstrators mittels Simulationsstudien

Ziel:

Das achte Arbeitspaket hat zum Ziel, das entwickelte Gesamtmodells und des Softwaredemonstrators anhand von Simulationsdurchläufen zu validieren.

Vorgehen:

Aufbauend auf den ersten drei Phasen der Softwareentwicklung aus AP 7 wurde zur Erreichung des Ziels von AP 8 die Testphase durchgeführt. Die Testphase geht von einem in Grundzügen funktionierenden Software-Demonstrator aus und deckt durch systematische Tests Schwachstellen auf. In einem ersten Schritt werden die Qualität sowie die Aussagefähigkeit des Gesamtmodells überprüft. Durch einen iterativen Prüf- und Korrekturprozess erfolgte basierend auf den bekannten Eingangs- und Ausgangsgrößen die Kontrolle des Modellverhaltens hinsichtlich der logischen Folgerichtigkeit. Auf Basis der Kontrollergebnisse wurden Fehleinschätzungen identifiziert und iterativ Modifikationen der Modellsystematik vorgenommen, bis das Modellverhalten mit den zuvor definierten Anforderungen übereinstimmt.

Zur Validierung des Gesamtmodells und Software-Demonstrators erfolgten zudem experimentelle Simulationsstudien. Hierfür wurden das in AP 4 programmierte Simulationsmodell zur Simulation verschiedener Lieferkettenszenarien genutzt. Als Eingangsparameter wurden die in AP 6 abgeleiteten Eingangsparameter verwendet.

Durch die Variation dieser Daten können im Rahmen von Simulationsstudien die Auswirkungen auf die logistischen Zielgrößen aufgezeigt werden. Um eine systematische Durchführung der Simulationsstudien sicherzustellen, wird ein Versuchsplan mittels eines „Design of Experiments“ angefertigt. Hierbei wird ein grober Wertebereich für die Simulationsstudien festgelegt. Die Simulationsergebnisse werden anschließend mit den Ergebnissen des Softwaredemonstrators verglichen und statistisch ausgewertet.

Ergebnis:

Als Ergebnis dieses Arbeitspaketes liegen quantitative Analysen zu Auswirkungen verschiedener Parameter auf die wirtschaftlichen und logistischen Zielgrößen vor. Im Rahmen des iterativen Prüf- und Korrekturprozesses wurden die Auswertungsebenen des Software-Demonstrators angepasst, um über die Erstellung verschiedenster Szenarien Faustregeln ableiten zu können. Zudem wurden die in Arbeitspaket 2 in Zusammenhang mit der Entstehung von Mischstrategien identifizierten Größen evaluiert. Im Gesamtmodell sowie im Software-Demonstrator wurde die Losgrößenberechnung um einen Mindestwert sowie einen Rundungswert erweitert.

Ebenfalls konnte durch Variation von Auftragsabwicklungsstrategien je Produkt die Kostensensitivität, die ebenfalls vom Software-Demonstrator modellbasiert berechnet wird, validiert werden. In Abbildung 3-14 ist als Beispiel eine Kostensensitivitätsanalyse dargestellt, bei der ceteris paribus die Auftragsabwicklungsstrategie eines einzelnen Erzeugnisses des Produktportfolios, das 20 Erzeugnisse umfasst, variiert wurde. In diesem Beispiel entstehen bei einer Auftragsfertigung (MTO) des betrachteten Erzeugnisses die geringsten Gesamtkosten über das gesamte Produktportfolio.

Kennzahlen des gesamten Produktportfolios	Auftragsabwicklungsstrategie des betrachteten Erzeugnisses			Einheit
	MTO	ATO	MTS	
Mittlerer Bestand Versandlager	4,11	4,18	3,92	Stk.
Mittlerer Bestand Halbfabrikatelager	117,68	174,39	84,88	Stk.
Mittlerer Bestand Fertigwarenlager	647,05	641,09	733,43	Stk.
Rüstzeiten	3987,00	3968,00	4110,00	min
Bestandskosten	872,79	893,78	964,11	€
Rüstkosten	3987,00	3968,00	4110,00	€
Gesamtkosten	5399,18	5407,67	5657,17	€
Simulationszeitraum:	3 Monate	Herstellkosten: 50 € / Stk.	Anzahl Aufträge: 272 Stk.	
Lagerhaltungskostensatz:	10%	Rüstkosten: 1 € / min.	Anzahl Produkte: 20 Erzeugnisse	

Abbildung 3-14: Bsp. Simulationsergebnisse zur Kostensensitivität bei der Variation der Auftragsabwicklungsstrategie eines Erzeugnisses

Die durchgeführten Simulationsstudien bildeten die Grundlage für die in Arbeitspaket neun erfolgten Anwendungstests des Software-Demonstrators in den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses. Als Vorbereitung hierfür wurde beispielsweise die ursprünglich implementierte Nutzung von Betriebskalendertage durch Kalendertage ersetzt, da bei Unternehmen Daten meist in Kalendertagen vorliegen, und die Programmierung im Software-Demonstrator um ein Modul zur automatisierten Umrechnung ergänzt.

3.10 Arbeitspaket 9: Anwendungstest des Software-Demonstrators in den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses

Ziel:

Ziel des neunten Arbeitspakets war die Sicherstellung eines benutzerfreundlichen und in der industriellen Praxis einfach anwendbaren Softwaredemonstrators.

Vorgehen:

Zur Validierung des Software-Demonstrators wurden umfassende Anwendungstest mit Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses durchgeführt. Die zur Nutzung notwendige Datenbasis, optional ergänzende Daten und Vorabanalysen sowie die grafische Aufbereitung der Ergebnisse des Software-Demonstrators wurden mit den Unternehmen im Hinblick auf die Lösungsgüte und die Anwendbarkeit im industriellen Alltag kritisch diskutiert. Verschiedene Szenarien wurden erarbeitet und mithilfe des Software-Demonstrators bewertet. Es erfolgten exemplarische Anwendungen für verschiedene Industriezweige. Die hierbei ausgewiesenen Potenziale wurden

durch Vergleichsrechnungen auf Plausibilität geprüft. Abweichungen von den vorherigen Simulationsergebnissen wurden auf ihre Relevanz für die Problemstellung hin überprüft und auftretende Fehler in einem iterativen Prozess beseitigt. Die Ergebnisse wurden beim Abschlusstreffen des projektbegleitenden Ausschusses präsentiert.

Ergebnis:

Ergebnis des neunten Arbeitspakets ist Vorliegen eines mit realen Daten von Produktionsunternehmen validierter Software-Demonstrator.

3.11 Arbeitspaket 10: Dokumentation (projektbegleitend)

Ziel und Vorgehen:

Inhalt des Arbeitspaketes 10 war die projektbegleitende, fortlaufende Dokumentation der Forschungsergebnisse sowie die Veröffentlichung in Fachzeitschriften und die Publikation durch Vorträge auf Fachkonferenzen. Zudem galt es, nach den Vorgaben des Forschungsförderers den Projektfortschritt und die Projektergebnisse in Form eines Zwischen- und eines Abschlussberichts zu dokumentieren.

Ergebnis:

Neben dem Zwischen- und Abschlussbericht wurden 9 Veröffentlichungen publiziert. Eine ausführliche Auflistung ist der Tabelle 7-2 in Kapitel 7 zu entnehmen.

4 Innovativer Beitrag und wirtschaftlicher Nutzen

Die von der Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie beeinflussten logistischen und wirtschaftlichen Zielgrößen sind entscheidend für den Erfolg von Produktionsunternehmen. Die Herausforderung besteht in der Positionierung im komplexen Spannungsfeld zwischen den teilweise gegenläufigen, aber unbedingt erfolgskritischen Zielgrößen. Für die Herleitung dieser Entscheidungen existieren besonders in KMU meist keine eigenständigen Planungsabteilungen. Oftmals liegt die Verantwortung sogar bei Mitarbeitern mit einem anderen Haupttätigkeitsfeld, denen folglich lediglich begrenzt Zeit und Erfahrung zur Verfügung stehen. Hinzu kommt der in der industriellen Praxis herrschende Zeitdruck sowie hohe Veränderungsgeschwindigkeit. Die in dem Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes erzielten Ergebnisse unterstützen insbesondere KMU bei der Bewältigung dieser Herausforderung. Der erstellte Software-Demonstrator befähigt die Mitarbeiter von KMU, selbstständig und aufwandsarm fundierte Analysen von innerbetrieblichen Lieferketten durchzuführen und die Umsetzung von konkreten Maßnahmen zu initiieren. KMU können folglich eigenständig eine strategische Positionierung ihrer Produktionsbereiche vornehmen, welche für die Mitarbeiter transparent und nachvollziehbar ist und eine ganzheitliche Betrachtung unterstützt. Die anwenderfreundliche Gestaltung stellt die relevanten Informationen für jeden Analyseschritt gezielt zur Verfügung, wodurch auch eine Anwendung für unerfahrene Mitarbeiter ohne Vorkenntnisse ermöglicht wird.

Der innovative Beitrag und der wirtschaftliche Nutzen der entwickelten Entscheidungshilfe für KMU zur modellbasierten Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie lassen sich auf die vier Aspekte Ganzheitlichkeit, Transparenz, Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit zurückführen. Durch die Berücksichtigung aller marktrelevanten und durch die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie beeinflussten Zielgrößen konnte ein ganzheitliches und gleichzeitig allgemeingültiges Modell realisiert werden. Durch die Nutzung verständlicher und visualisierbarer Teilmodelle ist die Entscheidungsfindung einfach nachvollziehbar. Durch den Software-Demonstrator und die zusätzlich zur Verfügung gestellten Dateien, wie z.B. den Leitfaden und die Beispieldatensätze, wird den Mitarbeitern von Produktionsunternehmen die eigenständige Anwendung des entwickelten Modells ermöglicht. Die Wettbewerbsfähigkeit von KMU wird durch die zielkonforme Entscheidungsfindung bei der Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie positiv beeinflusst. Die verschiedenen Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses attestierten unabhängig voneinander den durch die Projektergebnisse erzielten Nutzen.

Nachfolgend wird eine im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführte exemplarische Anwendung des Software-Demonstrator beschrieben [41]. Die unternehmensinterne Lieferkette bestand aus der Beschaffung, zwei Produktionsstufen, einem Halbfabrikatelager und dem Versand. Der Produktionsprozess erforderte Losgröße 1 und die maximale Lagerverweildauer belief sich

für alle Produkte auf 1 Jahr. Basierend auf historischen Daten zu den Kundenaufträgen und Betriebsdaten wurden die Auftragsabwicklungsstrategie von 40 Produkten untersucht (vgl. Abbildung 4-1). 19 Produkte kamen für einen Wechsel von einer ATO Produktion zu einer MTS Produktion in Frage. Die Reduktion der in direkten Zusammenhang mit der Auftragsabwicklungsstrategie stehenden Kosten lag für die einzelnen Produkte zwischen 19,3% und 28,2%. Über alle Produkte ergab sich eine mögliche Einsparung von 12,8%. Die Verantwortung für den Wechsel der Auftragsabwicklungsstrategie und damit einhergehend der Anpassung der Daten im ERP System liegt bei den Mitarbeitern des jeweiligen Unternehmens. In vielen Fällen verfügen diese über weiterführende Informationen, wie beispielsweise den Zeitrahmen für die Einführung neuer Produkte oder Varianten.

Fallstudie			
<p>Ausgangssituation</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 Produktionsstufen • 7 Arbeitstage pro Woche • 3 Schichtsystem • Produktionslosgröße 1 • 1 Jahr maximale Lagerverweildauer 	<p>Auftragsabwicklungsstrategie</p>		
		Aktuelle Produktzuteilung	Empfohlene Produktzuteilung
	MTO	0	0
	ATO	31	12
	MTS	9	28
<p>Daten</p> <ul style="list-style-type: none"> • 40 Produkte • 2260 Kundenaufträge • 1 bis 5 Produkten pro Bestellung • 5 bis 10 Tage Kundenwunschliefzeit • 95% Ziel- Liefertermineinhaltung • 95% Ziel- Servicegrad im Fertigwarenlager 	<p>Mögliche Einsparung im Vergleich zur aktuell verwendeten Auftragsabwicklungsstrategie: 12,8 %</p>		

Abbildung 4-1: Beispielhafte Anwendung des Software-Demonstrators [41]

5 Verwendung der Zuwendung

Die Bearbeitung des Forschungsprojekts erfolgte über den Zeitraum vom 01.11.2019 bis 31.01.2022 am Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) der Leibniz Universität Hannover und am Institut für Produkt- und Prozessinnovation (PPI) der Leuphana Universität Lüneburg für je 23 Monate durch eine Stelle (TV-L 13, 100%) aus der Fachgruppe Produktionsmanagement.

Während der Projektlaufzeit wurden die wissenschaftlichen Mitarbeiter bei den Literaturrecherchen, bei den Workshops und Diskussionen in den Unternehmen, bei der Vor- und Nachbereitung der Treffen des projektbegleitenden Ausschusses und bei der Dokumentation der Ergebnisse durch studentische Hilfskräfte unterstützt.

Des Weiteren wurden durch Studierende der Leibniz Universität Hannover und der Leuphana Universität Lüneburg folgende studentische Arbeiten zu diesem Thema bearbeitet und durch das IFA oder das PPI betreut:

- 5 Masterarbeiten
- 3 Studienarbeiten
- 3 Bachelorarbeiten

Die erzielten Ergebnisse fließen zudem in die Dissertationsvorhaben der Projektbearbeitenden ein.

6 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Während des Projektverlaufs und auch nach Projektende bestätigte sich, dass die geleistete Arbeit in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag entsprach. Der im Antrag kalkulierte Aufwand war somit für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

7 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Erste Schritte zum Ergebnistransfer sind bereits während der Projektlaufzeit entsprechend der geplanten Maßnahmen durchgeführt worden. Weitere Maßnahmen zur Verwertung und Verbreitung der Projektergebnisse befinden sich aktuell in der Umsetzung und sind im Anschluss an das Projekt vorgesehen. Alle noch ausstehenden Maßnahmen sind bereits angestoßen worden. Eine Umsetzung im geplanten Zeitraum wird daher als realistisch eingeschätzt. Der gesamte Plan zum Ergebnistransfer ist Tabelle 7-2 zu entnehmen.

Während der Projektdurchführung wurden die (Zwischen-)Ergebnisse laufend in den Treffen des projektbegleitenden Ausschusses sowie gegenüber weiteren interessierten Unternehmen bekannt gemacht. Dadurch konnte zum einen ein erster Wissenstransfer in die Wirtschaft angestoßen und zum anderen wichtiger Input für die Modellerstellung gewonnen werden. Die Umsetzbarkeit der Ergebnisse ist damit zu jeder Zeit gewährleistet gewesen. Da neben sechs KMU auch sieben größere Unternehmen zum projektbegleitenden Ausschuss zählten, konnten ebenfalls bereits Multiplikatoren mit großer Reichweite gewonnen werden.

Die Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses sind in der Tabelle 7-1 aufgeführt:

Tabelle 7-1: Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses

Unternehmen	KMU	Ansprechpartner
Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG		Hr. Sebastian Schröder
Lenze SE / Lenze Operations GmbH		Hr. Matthias Görke Fr. Katharina Wolff
Grean GmbH	X	Hr. Dr. Serjoshia Wulf Hr. Dr. Tim Daniel Busse
GTT Gesellschaft für Technologie Transfer mbH	X	Fr. Dr. Julia Gerth Hr. Sven Döpke
KRONES AG		Hr. Markus Böhm
ADM WILD Europe GmbH & Co. KG		Fr. Kerstin Gliniorz
Mahr GmbH		Hr. Christian Hofmeister
Kreyenberg GmbH	X	Hr. Oliver Haack
Norrenbrock Technik GmbH & CO. KG	X	Hr. Hendrik Rüssmann
Profilator GmbH		Hr. Florian Seskar
Johns Manville Sales GmbH		Fr. Anne-Beatrice Schäfer

Laverana GmbH und Co. KG	X	Hr. Frank Mönikes
MT Recycling GmbH	X	Hr. Frank Tchorz

Tabelle 7-2: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft (spezifische durchgeführte und geplante Transfermaßnahmen)

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Zeitraum
Im Berichtszeitraum umgesetzte Transfermaßnahmen			
Projekthomepage	Bereitstellung aller Informationen zu dem Forschungsprojekt	Internetseiten des Projekts: www.ifa.uni-hannover.de/mobastra www.leuphana.de/mobastra	Seit 11/2019
Projektbegleitender Ausschuss	Sicherstellung der Ausrichtung an KMU-Anforderungen	6 Arbeitstreffen online, am IFA oder bei den Unternehmen vor Ort	12/2019 – 09/2021
		35 Experteninterviews zu einzelnen Arbeitspaketen	01/2020 – 09/2021
Konferenzen und Tagungen	Frühzeitige Diskussion der Ergebnisse in der Forschung	Teilnahme an: Advances in Production Management Systems Conference (APMS) 2020 CIRP Global Web Conference (CIRPe) 2020 Conference on Production Systems and Logistics (CPSL) 2021 Deutscher Logistikkongress 2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) 2021 Conference on Production Systems and Logistics (CPSL) 2022 CIRP Conference in Manufacturing Systems (CMS) 2022	09/2020 – 07/2022
Veröffentlichungen	Transfer der Forschungsergebnisse	Heuer, T.; Maier, J. T.; Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2020): Auslegung der Auftragsabwicklungsstrategie - Modellbasierte Entscheidungsunterstützung	06/2020

		<p>zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 115 (6), S. 399-404. DOI: https://doi.org/10.3139/104.112367</p> <p>Maier, J. T.; Heuer, T.; Nyhuis, P.; Schmidt, M. (2020): Supporting the Decision of the Order Processing Strategy by using Logistic Models: A Case Study, Lalic B., Majstorovic V., Marjanovic U., von Cieminski G., Romero D. (eds) Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems. APMS 2020. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 591. Springer, S. 343-350. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_39</p> <p>Maier, J. T.; Heuer, T.; Nyhuis, P.; Schmidt, M. (2021): The effects of hybrid order processing strategies on economic and logistic objectives. Procedia CIRP 96, S. 266-271. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.085</p> <p>Heuer, T.; Maier, J. T.; Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2021): Eilaufträge logistisch beherrschen. Werkstattstechnik online 11(4), S. 185-189. DOI: https://doi.org/10.37544/1436-4980-2021-04-7</p> <p>Maier, J. T.; Berger, S.; Heuer, T.; Nyhuis, P.; Schmidt, M. (2021): Decisions And Characteristics During The Development Process Of A Software Demonstrator. In: Herberger, D.; Hübner, M. (eds): Proceedings of the 2nd Conference on Production Systems and Logistics (CPSL 2021). Hannover: Institutionelles Repositorium der Leibniz Universität Hannover, S. 514-523. DOI: https://doi.org/10.15488/11277</p> <p>Wolff, K.; Maier, J. T.; Heuer, T.; Nyhuis, P.; Schmidt, M.: Effects Of Different Order Processing Strategies On Operating Curves Of Logistic Models: A Comparison Of Make-to-Order</p>	<p>09/2020</p> <p>02/2021</p> <p>04/2021</p> <p>09/2021</p> <p>11/2021</p>
--	--	---	--

		<p>And Make-to-Stock. In: Journal of Production Systems and Logistics 1 (2021), 18. DOI: https://doi.org/10.15488/11532</p> <p>Heuer, T.; Maier, J. T.; Busse, T. D.; Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2021): Logistical Potentials of Load Balancing via the Build-up and Reduction of Stock, 2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2021, S. 264-269. DOI: https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9673063</p> <p>Heuer, T.; Maier, J. T.; Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2022): Fulfilment of heterogeneous customer delivery times, In: Herberger, D.; Hübner, M. (eds): Proceedings of the 3rd Conference on Production Systems and Logistics (CPSL 2022). Hannover: Institutionelles Repositorium der Leibniz Universität Hannover (Full Paper zur Veröffentlichung angenommen)</p> <p>Maier, J. T.; Heuer, T.; Stoffersen, H.; Nyhuis, P.; Schmidt, M. (2022): Data based analysis of order processing strategies to support the positioning between conflicting economic and logistic objectives, Konferenz: CMS 2022 (Full Paper zur Veröffentlichung angenommen)</p>	01/2022
		<p>Veröffentlichungen Dritter</p> <p>Könighofer, D. (2020): Make-to-Order oder Make-to-Stock?, In: Factory (10), S. 44-47. https://factorynet.at/artikel/make-to-order-oder-make-to-stock/</p> <p>Bottler, S. (2022): Aufbruch für die optimale Auftragsabwicklung. In: BVL Magazin Eins 2022 (1), S. 32-33. https://www.bvl.de/magazin (nur für BVL-Mitglieder)</p>	10/2020 01/2022
Bereitstellung des Software-demonstrators	Diskriminierungsfreier Ergebnistransfer in die wirtschaftliche Praxis	<p>Homepages der Forschungseinrichtungen:</p> <p>www.ifa.uni-hannover.de/mobastra</p> <p>www.leuphana.de/mobastra</p>	Seit 02/2022

Integration der Ergebnisse in das Lehrangebot des IFA und des PPI	Vermittlung der Erkenntnisse an zukünftige Ingenieure	Integration von Teilergebnissen in die Vorlesung „Produktionsmanagement und -logistik“ des IFA und die Vorlesung „Produktionsmanagement“ des PPI	Seit 10/2020
Nach dem Berichtszeitraum geplante Transfermaßnahmen			
Veröffentlichungen	Transfer der Forschungsergebnisse	Erstellung zweier Dissertationen (Tammo Heuer; Janine Tatjana Maier)	voraussichtlich 09/2022
Abschlussbericht	Dokumentation und Verbreitung der Ergebnisse an die Öffentlichkeit	Internetseiten des IFA, des PPI und der BVL e. V.	voraussichtlich 5/2022
Integration der Ergebnisse in das Lehrangebot des IFA und des PPI	Vermittlung der Erkenntnisse an zukünftige Ingenieure	Integration weiterer Projektergebnisse in die Vorlesung „Produktionsmanagement und -logistik“ des IFA und die Vorlesung „Produktionsmanagement“ des PPI	voraussichtlich 10/2022
IFA-Lernfabrik und MBA Digital Production Management der Leuphana	Integration der Forschungsergebnisse in das Weiterbildungsprogramm für Fach- und Führungskräfte	www.ifa-lernfabrik.de www.leuphana.de/professional-school/berufsbe-gleitende-master-mba/studium-digital-production-management	voraussichtlich 10/2022

8 Durchführende Forschungsstelle

Das Forschungsprojekt „Modellbasierte Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie (MoBAStra)“ wurde über die gesamte Laufzeit von den Forschungsinstitutionen IFA - Institut für Fabrikanlagen und Logistik und PPI – Institut für Produkt- und Prozessinnovation bearbeitet. Verantwortlich für die Projektleitung bei der Forschungsstelle war jeweils die Fachgruppe Produktionsmanagement.

Forschungsstelle 1:

IFA – Institut für Fabrikanlagen und Logistik
An der Universität 2
30823 Garbsen

Leiter der Forschungsstelle

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis
Institutsleitung
An der Universität 2, 30823 Garbsen
Tel: 0511 762 3390

Projektbearbeiter

Tammo Heuer, M.Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fachgruppe Produktionsmanagement des IFA
An der Universität 2, 30823 Garbsen
Tel: 0511 762 18187
E-Mail: heuer@ifa.uni-hannover.de

Forschungsstelle 2:

PPI – Institut für Produkt- und Prozessinnovation
Universitätsallee 1
21335 Lüneburg

Leiter der Forschungsstelle

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Schmidt
Institutsleitung
Universitätsallee 1, 22135 Lüneburg
Tel: 04131 677 1888

Projektbearbeiterin

Janine Tatjana Maier, M.Sc.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Fachgruppe Produktionsmanagement des PPI
Universitätsallee 1, 22135 Lüneburg
Tel: 04131 677 1889
E-Mail: jtmaier@leuphana.de

9 Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 20906 N der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Für die Förderung sei an dieser Stelle gedankt.

10 Literaturverzeichnis

- [1] Olhager, J., 2003. Strategic Positioning of the Order Penetration Point. *International Journal of Production Economics*. *International Journal of Production Economics* 85 (3), 319–329.
- [2] Hoekstra, S., Romme, J., Argelo, S.M., 1992. *Integral logistic structures: Developing customer-oriented goods flow*. McGraw-Hill, London, New York.
- [3] Wiendahl, H.-P., Reichardt, J., Nyhuis, P., 2010. *Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten*, 1. Aufl. ed. Carl Hanser, München, Wien.
- [4] Schönsleben, P., 2007. *Integrales Logistikmanagement: Operations and Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken*, 5., bearb. u. erw. Aufl. 2007 ed. Springer, Berlin, Heidelberg, 1036 pp.
- [5] Syska, A., 2006. *Produktionsmanagement: Das A-Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute*, 1. Aufl. ed. Gabler, Wiesbaden, 184 S.
- [6] Beckmann, H., 2004. *Supply Chain Management: Grundlagen, Konzept und Strategien*, in: Beckmann, H. (Ed.), *Supply Chain Management*. Springer, Berlin, pp. 1–98.
- [7] Westkämper, E., Decker, M., 2006. *Einführung in die Organisation der Produktion*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, XIII, 258 S.
- [8] Nywlt, J., [2016]. *Logistikorientierte Positionierung des Kundenauftragsentkopplungspunktes*. Dissertation, Garbsen.
- [9] Grigutsch, M., 2016. *Modellbasierte Bewertung der logistischen Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit des Kundenauftragsentkopplungspunktes*. Dissertation, Garbsen.
- [10] Soman, C.A., van Donk, D.P., Gaalman, G., 2004. Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system. *International Journal of Production Economics* 90 (2), 223–235.
- [11] Bank, L., Lubert M., Theumer P., Zipfel, A., Kämpfer, T., Hiller, T., Heuer, T., Demke, T., Mundt, C., Köster, N., Janke, T., Schmidhuber, M., Maibaum, J., 2021. *PPS-Report 2021 - Studienergebnisse*. Fraunhofer-Publica, Augsburg.
- [12] Zhang, L., Chung, D.J., 2020. Price bargaining and competition in online platforms: An empirical analysis of the daily deal market. *Marketing science* 39 (4), 687-706.
- [13] Paprocka, I., Cyba, S., 2015. Assessment of Production Capacity and Ability of Rapid Response to Changing Customer Expectations. *Applied Mechanics and Materials* 809, 1378–1383.
- [14] Peeters, K., van Ooijen, H.P.G., 2020. Hybrid make-to-stock and make-to-order systems: A taxonomic review. *International Journal of Production Research*, 1–30.
- [15] Rafiei, H., Rabbani, M., 2011. Order partitioning and Order Penetration Point location in hybrid Make-To-Stock/Make-To-Order production contexts. *Computers & Industrial Engineering* 61, 550–560.

- [16] Tiemessen, H.G.H., Fleischmann, M., van Houtum, G.J., 2016. Dynamic Control in Multi-item Production/Inventory Systems. *Operations Research-Spektrum* 39, 165–191.
- [17] Jia, Y., Weng, W., Fujimura, S., 2017. A Hybrid MTS-MTO Production Model with a Dynamic Decoupling Point for Flexible Flow Shops, in: *Proceedings of the 16th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2017)*. International Conference on Computer and Information Science, Wuhan, China. Mai 24 – 26. IEEE, Piscataway, NJ, pp. 803–807.
- [18] Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M., Pilati, F., 2019. MTO/MTS Policy Optimization for Sheet Metal Plate Parts in an ATO Environment. *Procedia CIRP* 81, 1046–1051.
- [19] Kaminsky, P., Kaya, O., 2009. Combined Make-to-Order/Make-to-Stock Supply Chains. *IIE Transactions* 41 (2), 103–119.
- [20] Corsten, D., Gabriel, C., 2004. *Supply-chain-Management erfolgreich umsetzen: Grundlagen, Realisierung und Fallstudien, 2., verb. Aufl.* ed. Springer, Berlin, Heidelberg, VIII, 355 S.
- [21] Gudehus, T., 2012. *Dynamische Disposition: Strategien, Algorithmen und Werkzeuge zur optimalen Auftrags-, Bestands- und Fertigungsdisposition, 3., neu bearb. und erw. Aufl.* ed. Springer, Berlin, Heidelberg, XVI, 283 S.
- [22] Akin, B., 1999. *Festlegung der Bevorratungsebene in fertigungstechnischen Unternehmen.* Zugl.: Mannheim, Univ., Diss., 1998, Wiesbaden.
- [23] Heuer, T., Tatjana Maier, J., Seitz, M., Schmidt, M., Nyhuis, P., 2020. Auslegung der Auftragsabwicklungsstrategie. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 115 (6), 399–404.
- [24] Härtel, L., Nyhuis, P., 2018. Systematic Data Analysis in Production Controlling Systems to Increase Logistics Performance, in: *Advances in Production Research. Proceedings of the 8th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP)*, Aachen. November 19-20.
- [25] Bogner, E., Löwen, U., Franke, J., 2016. Systematisierung von Wertschöpfungsketten im Hinblick auf die Produktion kundenindividueller Produkte, in: *1. Interdisziplinäre Konferenz zur Zukunft der Wertschöpfung*. Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr, Laboratorium Fertigungstechnik, 2016, Hamburg.
- [26] Nyhuis, P., 1996. Lagerkennlinien: ein Modellansatz zur Unterstützung des Beschaffungs- und Bestandscontrollings, in: Baumgarten, H. (Ed.), *RKW-Handbuch Logistik*. Erich Schmidt, Berlin, pp. 1–30.
- [27] Schmidt, M., Bertsch, S., Nyhuis, P., 2014. Schedule compliance operating curves and their application in designing the supply chain of a metal producer. *Production Planning & Control* 25 (2), 123–133.
- [28] Wolff, K., Maier, J.T., Heuer, T., Nyhuis, P., Schmidt, M., 2021. Effects Of Different Order Processing Strategies On Operating Curves Of Logistic Models: A Comparison Of Make-to-Order And Make-to-Stock. *Journal of Production Systems and Logistics* 1 (18).

- [29] Wiendahl, H.-P., Wiendahl, H.-H., 2019. Betriebsorganisation für Ingenieure, 9., vollständig überarbeitete Auflage ed. Hanser Verlag, München, 421 pp.
- [30] Trzyna, D., 2015. Modellierung und Steuerung von Eilaufträgen in der Produktion. Dissertation, Hamburg, 170 pp.
- [31] Heuer, T., Maier, J.T., Busse, T.D., Schmidt, M., Nyhuis, P., 2021 - 2021. Logistical Potentials of Load Balancing via the Build-up and Reduction of Stock, in: 2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). 2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore, Singapore. 12/13/2021 - 12/16/2021. IEEE, pp. 264–269.
- [32] Schäfers, P., 2020. Modellbasierte Untersuchung der Wirkung von Planungs- und Steuerungsverfahren auf die Termintreue einer Produktion. Dissertation, Garbsen.
- [33] Busse, T.D., 2013. Modellbasierte Bewertung der Belastungssteuerung auf das logistische Systemverhalten. PZH-Verlag, Garbsen.
- [34] Bechte, W., 1984. Steuerung der Durchlaufzeiten durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe bei Werkstättenfertigung. VDI, Düsseldorf.
- [35] Heuer, T., Maier, J.T., Schmidt, M., Nyhuis, P., 2021. Eilaufträge logistisch Beherrschen. wt Werkstattstechnik online 111 (4), 185–189.
- [36] Jäger, Y., Roser, C., 2018. Effect of Prioritization on the Waiting Time, in: Moon I., Lee G., Park J., Kiritsis D., von Cieminski G. (eds) (Ed.), Advances in Production Management Systems. Production Management for Data-Driven, Intelligent, Collaborative, and Sustainable Manufacturing, vol. 535, vol 535 ed. Springer, Cham, pp. 21–26.
- [37] Thüerer, M., Silva, C., Stevenson, M., 2010. Workload control release mechanisms: from practice back to theory building. International Journal of Production Research 48 (12), 3593–3617.
- [38] Lutz, S., 2002. Kennliniengestütztes Lagermanagement. Univ., Diss. Hannover, 2002. VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [39] Münzberg, B., 2013. Multikriterielle Losgrößenbildung. Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2013, Garbsen.
- [40] DeMarco, T., 1979. Concise Notes on software engineering. Yourdon, New York, 93 pp.
- [41] Maier, J.T., Heuer, T., Stoffersen, H., Nyhuis, P., Schmidt, M., Im Druck. Data based analysis of order processing strategies to support the positioning between conflicting economic and logistic objectives. Procedia CIRP.

11 Anhang



Leitfaden zum Software-Demonstrator des Forschungsprojektes „Modellbasierte Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie“ (MoBAstra)

Das Forschungsprojekt wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF-Nr. 20906 N) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) e. V. und die Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V. aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	54
Tabellenverzeichnis	55
1 Betrachtungsgegenstand	56
2 Rahmenbedingungen	58
3 Datenbedarf	59
3.1 Systemkonfiguration	59
3.2 Datenstruktur	60
4 Anwendung	65
4.1 Voranalysen	65
4.2 Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie	69
5 Ergebnisinterpretation.....	78
6 Literaturverzeichnis	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Differenzierung der verschiedenen Auftragsabwicklungsstrategien [2,3].....	56
Abbildung 2: Startoberfläche des Software-Demonstrators	58
Abbildung 3: Abfrage zur Anzahl an Produktionsstufen	59
Abbildung 4: Ergebnisansicht der ABC-Analyse	66
Abbildung 5: Ausgewählte Methoden zur Klassifizierung von Produkten [5]	66
Abbildung 6: Grundidee der multikriteriellen Losgrößenbildung [9]	68
Abbildung 7: Vorgehensweise zur Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie	71
Abbildung 8: Kostenbestandteile in direktem Zusammenhang mit der Auftrags- abwicklungsstrategie	72
Abbildung 9: Beispielhafte Termineinhaltungskennlinie	73
Abbildung 10: Beispielhafte Lagerkennlinien	74
Abbildung 11: Vorgehensweise zur Bewertung des Potentials des Belastungsabgleiches	77
Abbildung 12: Beispielhaftes Ergebnis der Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie	78
Abbildung 13: Ausschnitt einer beispielhaften Gesamtauswertung	79
Abbildung 14: Beispielhafte Auswertung eines einzelnen Produktes	79
Abbildung 15: Beispielhaftes Ergebnis der Bestandsdimensionierung	80
Abbildung 16: Beispielhaftes Ergebnis der Analyse der Belastungsflexibilität	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Notwenige Daten für den Software-Demonstrator	62
Tabelle 2: Optionale Daten für den Software-Demonstrator	63

1 Betrachtungsgegenstand

Die Auftragsabwicklungsstrategie beeinflusst wirtschaftliche und logistische Zielgrößen und wirkt sich somit direkt auf die Wettbewerbsfähigkeit von Produktionsunternehmen aus. Sowohl die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie als auch die Optimierung von Systemen mit festgelegter Auftragsabwicklungsstrategie werden in der Literatur vielfach diskutiert. Die zur Auswahl stehenden Auftragsabwicklungsstrategien lassen sich in erster Linie auf die Lage des Kundenauftragsentkopplungspunktes (KEP) zurückführen. Der KEP bezeichnet den Punkt im Materialfluss, an dem der Produktionsdurchlauf in einen kundenauftragsanonyme und eine kundenauftragspezifische Produktion geteilt wird [1]. Sofern ein Produkt nicht speziell für einen Kunden entwickelt oder konstruiert wird, haben Unternehmen somit die Wahl zwischen einer Make-to-Order- (MTO), einer Assemble-to-Order- (ATO) und einer Make-to-Stock- (MTS) Produktion (Abbildung 1).

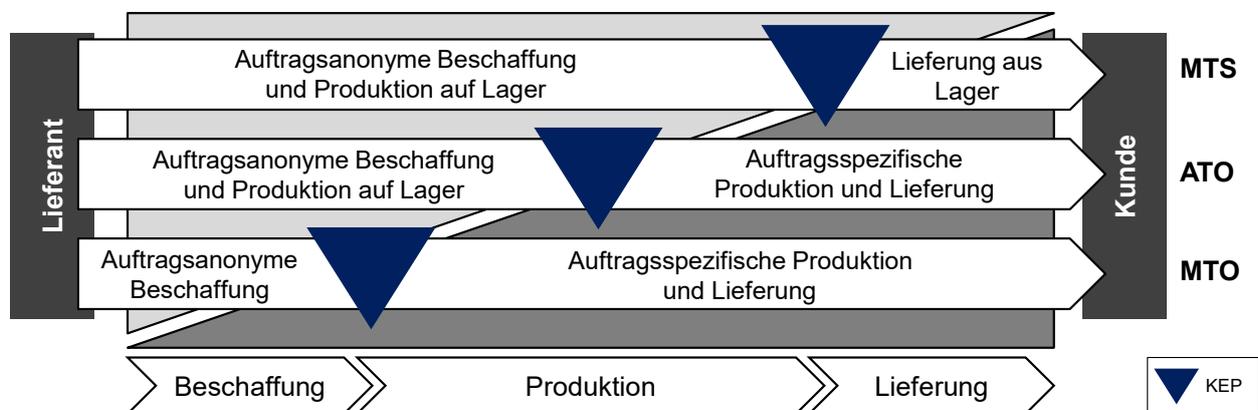


Abbildung 1: Differenzierung der verschiedenen Auftragsabwicklungsstrategien [2,3]

In der industriellen Praxis existieren darüber hinaus jedoch zahlreiche Variationen und unternehmensspezifische Erweiterungen dieser Strategien. Dieses lässt sich auf die Vielzahl an mit der Auftragsabwicklungsstrategie in Zusammenhang stehenden Einflussfaktoren zurückführen. Zu ihnen gehören sowohl quantifizierbare Faktoren wie beispielsweise die Haltbarkeit von Produkten als auch qualitative und strategische Aspekte, die aus den Wechselwirkungen mit nachgelagerten Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung sowie übergeordneten Entscheidungen wie der Wahl des Produktionsstandortes resultieren. Aufgrund des in der industriellen Praxis herrschenden Zeitdruckes basiert die Entscheidung über die Auftragsabwicklungsstrategie in vielen Fällen auf einigen wenigen meist qualitativen Kriterien oder auf Erfahrungswerten langjähriger Mitarbeiter. Darüber hinaus wird eine pauschale Entscheidung für ganze Produktgruppen getroffen und diese nicht regelmäßig hinterfragt.

Selbst im Falle eines identischen Produktionsprozesses zweier Produkte, können sich die Bestellmengen, Bestellzeitpunkte sowie die Kundenwunschlieferszeiten stark unterscheiden. Aufgrund der vielen sich dynamisch veränderten Größen ist für jedes Endprodukt oder jede Produkt-

familie eine individuelle Entscheidung über die Auftragsabwicklungsstrategie zu treffen und regelmäßig zu überprüfen. Während in Konzernen eigenständige Planungsabteilungen für die Herleitung solcher Entscheidungen existieren, liegt die Verantwortung in kleinen und mittleren Unternehmen oftmals bei Mitarbeitern mit einem anderen Haupttätigkeitsfeld.

Zur Vereinfachung werden die Entscheidungskriterien auch in der Literatur stark eingeschränkt und viele Annahmen getroffen. Es existieren jedoch keine Regeln zur Festlegung der heranzuziehenden Kriterien und deren Charakteristiken. Die Ergebnisse der Autoren variieren daher stark und sind größtenteils nicht vergleichbar. Die Empfehlungen basieren häufig auf wenigen oder gar nur einer Zielgröße wie beispielsweise der Lieferzeit. Auf eine Vielzahl an Kriterien basierende Ansätze ermöglichen keine allgemeingültigen Aussagen. Simulationsbasierte Modelle können zur Entscheidungsunterstützung genutzt werden, jedoch erfordern sie einen hohen Modellierungs- und Rechenaufwand. Zudem lassen sich die Ergebnisse nicht einfach auf andere Unternehmen übertragen.

Aufgrund der fehlenden praxisorientierten Ansätze und des erforderlichen Know-hows stellt die systematische Auswahl der Auftragsabwicklungsstrategie eine große Herausforderung für produzierende Unternehmen dar. Ziel des Forschungsprojektes „MoBAStra“ war daher die Entwicklung eines Entscheidungsstützungsmodells zur Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie. Logistische Modelle stellen die Wechselwirkungen zwischen den teilweise gegenläufigen wirtschaftlichen und logistischen Zielgrößen von Produktionsunternehmen dar. Daher wurden ausgewählte logistische Modelle als Grundlage zur Ableitung der Kosten verschiedener Auftragsabwicklungsstrategien genutzt. Das erstellte theoretische Gesamtmodell wurde in einen Software-Demonstrator überführt.

2 Rahmenbedingungen

Der Software-Demonstrator, ein Beispieldatensatz, eine tabellarische Auflistung der einzulesenden Daten und der vorliegende Leitfaden stehen zum kostenlosen Download auf den Homepages der beiden Forschungseinrichtungen zur Verfügung.

Abbildung 2 zeigt die Startoberfläche des Software-Demonstrators. Diese öffnet sich direkt nach dem Öffnen der Datei. Die Benutzeroberfläche des Software-Demonstrators ist eine Microsoft Excel Anwendung. Die Programmierung erfolgte mittels Visual Basic for Applications (VBA). Das Passwort „mobastra“ kann genutzt werden, um auf den VBA-Code zuzugreifen und die Sperrung von einzelnen Inhalten der Tabellenblätter aufzuheben.

Bitte wählen Sie aus, was Sie tun möchten.

System konfigurieren Daten einlesen

Voranalysen durchführen Auftragsabwicklungsstrategie bestimmen Bestehende Auswertung anzeigen

© Institut für Produkt- und Prozessinnovation 2021 © Institut für Fabrikanlagen und Logistik 2021

Software-Demonstrator zum Forschungsprojekt "MoBAstra" in Kooperation von
LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNEBURG
Leibniz Universität Hannover

Hinweise:

Klicken auf "System konfigurieren":
Die Excel Oberfläche wird ausgeblendet und Sie werden Schritt für Schritt durch einzelnen Abfragen für die Konfiguration des Systems geführt.

Klicken auf "Daten einlesen":
Sie können Schritt für Schritt neue Daten einlesen. Sofern Unstimmigkeiten bei der Überprüfung der Daten erkannt werden, werden Sie gebeten einen neuen Datensatz einzulesen oder manuelle Anpassungen vorzunehmen.

Klicken auf "Voranalysen durchführen":
Die Excel Oberfläche wird ausgeblendet und Sie können Schritt für Schritt Voranalysen durchführen. Nach dem Abschluss des Berechnungsprozesses haben Sie die Möglichkeit sich die Ergebnisse der einzelnen Analysen

Klicken auf "Auftragsabwicklungsstrategie bestimmen":
Die Excel Oberfläche wird ausgeblendet und Sie werden gebeten Werte für die Zielgrößen Termineinhaltung und Servicegrad anzugeben. Nach dem Abschluss des Berechnungsprozesses gelangen Sie direkt zum Dashboard.

Klicken auf "Bestehende Auswertung ansehen":
Sie gelangen direkt zum Dashboard und können sich die Ergebnisse der zuletzt durchgeführten Berechnung auf verschiedenen Detaillierungsebenen ansehen. Die Anpassung von Parametern ist in diesem Fall nicht möglich.

Bitte beachten Sie, dass Makros aktiviert sein müssen. Das Öffnen der Anwendung kann einige Zeit in Anspruch nehmen. Weiterführende Informationen zum Software-Demonstrator finden Sie im Leitfaden.

Abbildung 2: Startoberfläche des Software-Demonstrators

Nachfolgend werden der Datenbedarf und die Anwendung des Software-Demonstrators schrittweise beschrieben. Darüber hinaus sind weiterführende Informationen zur Interpretation der Ergebnisse und Erläuterungen zu den verwendeten Modellen aufgeführt.

3 Datenbedarf

3.1 Systemkonfiguration

Im Falle der ersten Anwendung des Software-Demonstrators für ein Produktionssystem oder einer Veränderung des bisher betrachteten Systems ist eine Konfiguration vorzunehmen. Durch Klicken auf den Button „System konfigurieren“ werden nacheinander die folgenden Informationen abgefragt:

- Anzahl Produktionsstufen
- Vorliegende Kapazitäten
- Lagerkostensatz
- Kapitalbindungskostensatz

Jede Abfrage ist mit den drei Buttons „Weiter“, „Zurück“ und „Überspringen“ versehen. Eine Erläuterung der Auswirkung des Klickens auf die jeweiligen Buttons ist aufgeführt. Zudem sind bei ausgewählten Abfragen weitere Informationen, wie z.B. Richtwerte, gegeben. Abbildung 3 zeigt die Abfrage der Anzahl an Produktionsstufen als Beispiel für die generelle Struktur der Abfragen.

Produktionsstufen

Wie viele Produktionsstufen sollen abgebildet werden?

1
 2
 3
 4
 5

Information zum Kundenauftragsentkopplungspunkt:
Der Kundenauftragsentkopplungspunkt (KEP) bezeichnet den Punkt im Materialfluss an dem der Übergang von einem kundenauftragsneutralen zu einem kundenauftragspezifischen Produktionsauftrag erfolgt. Bei nur einer Produktionsstufe kann kein KEP gesetzt werden, sodass die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie automatisch auf MTS und MTO beschränkt ist. Bei mehr Produktionsstufen liegt der KEP für eine ATO-Produktion zwischen diesen.

Hinweise:
Klicken auf "Weiter": Die eingegebenen Werte werden gespeichert und die Abfrage zur Lage des KEP wird geöffnet. Bei keiner Eingabe wird die Anzahl der Produktionsstufen automatisch auf eins gesetzt. Anschließend wird die Abfrage zur Differenzierung der Kapazitäten geöffnet.
Klicken auf "Zurück": Die Startoberfläche wird wieder geöffnet.
Klicken auf "Überspringen": Die Anzahl der Produktionsstufen wird auf eins gesetzt. Anschließend wird die Abfrage zur Differenzierung der Kapazitäten geöffnet.

Abbildung 3: Abfrage zur Anzahl an Produktionsstufen

Die Anzahl der analysierten Produktionsstufen kann zwischen eins und fünf liegen. Sofern nur eine Produktionsstufe ausgewählt wird, kann kein KEP für eine ATO-Produktion gesetzt werden, sodass die Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie automatisch auf MTS und MTO beschränkt wird. Liegen zwei Produktionsstufen vor, liegt der KEP automatisch zwischen diesen beiden Stufen. Bei mehr als zwei Produktionsstufen werden dem Anwender die entsprechenden verschiedenen Möglichkeiten zur Positionierung des KEPs aufgezeigt. Für den Fall, dass der Anwender hier keine Entscheidung trifft, wird der KEP automatisch nach der ersten Produktionsstufe gesetzt.

Im Anschluss werden die vorhandenen Kapazitäten abgefragt. Für die Auftragsbearbeitung, die Produktion und den Versand können unterschiedliche Kapazitäten gewählt werden. Zudem hat der Anwender bei mindestens zwei Produktionsstufen die Möglichkeit für die einzelnen Produktionsstufen unterschiedliche Kapazitäten anzugeben. Auf Basis der angegebenen Arbeitsstunden/Tag und der Arbeitstage/Woche werden die später in den Software-Demonstrator eingelesenen Zeiten so angepasst, dass die Durchlaufzeit und damit einhergehend die Lieferzeit der Produkte in Kalendertage und nicht in Betriebskalendertagen angegeben werden kann. Die Lieferzeit kann so direkt mit der Kundenwunschlieferszeit abgeglichen werden und die resultierenden Werte für die logistischen Zielgrößen können bestimmt werden. Gibt der Anwender keine eigenen Kapazitäten ein, werden automatisch vierundzwanzig Arbeitsstunden/Tag an sieben Arbeitstagen/Woche angenommen. Sofern es sich bei den einzulesenden Daten bereits um an die Kapazitäten angepasste Vorgabezeiten handelt, ist die Kombination aus vierundzwanzig Arbeitsstunden/Tag und sieben Arbeitstage/Woche auszuwählen. Andernfalls werden die später eingelesenen Daten an die angegebenen Kapazitäten angepasst. Um die Systemkonfiguration abzuschließen, wird der Anwender aufgefordert den Lagerkostensatz sowie Kapitalbindungskostensatz anzugeben. Für den Fall, dass einer von beiden oder beide Kostensätze nicht angegeben werden, werden jeweils fünf Prozent für beide Kostensätze im Demonstrator hinterlegt. Der Demonstrator addiert den Lagerkostensatz und Kapitalbindungskostensatz um den Lagerhaltungskostensatz zu erhalten. Nach der Systemkonfiguration gelangt der Anwender wieder zur Startoberfläche.

3.2 Datenstruktur

Nach der Systemkonfiguration können Daten eingelesen werden. Um sicherzustellen, dass die eingelesenen Daten zur Konfiguration passen, erfordert eine Veränderung der Systemkonfiguration das neue Einlesen von Daten. Wenn das System bereits konfiguriert ist, können beliebig oft neue Daten eingelesen werden. Hierbei ist zu beachten, dass beim Einlesen neuer Daten alle vorherigen Einträge überschrieben werden und daher auch bereits durchgeführte Analysen zurückgesetzt werden. Durch Klicken auf den Button „Daten einlesen“ wird der Anwender aufgefordert nacheinander Kundenaufträge, Produktdaten und Produktionsdaten (mit Trennzeichen getrennt) bereitzustellen.

Eine tabellarische Auflistung der Bestandteile der einzelnen Dateien sowie weiterführende Informationen wie beispielsweise die Eingabe und mögliche Einschränkungen von Auswahlmöglichkeiten sind in der Datei „Informationen zum Datenbedarf“ detailliert aufgeführt. Bei den Beispieldatensätzen handelt es sich um CSV-Dateien, welche fiktive Unternehmensdaten enthalten. Diese Beispielsätze werden für die Erläuterungen der Ergebnisinterpretation genutzt und eine Version des Software-Demonstrators, der diese Daten beinhaltet, steht dem Anwender zur Verfügung, um die Auswirkungen der möglichen Parametrisierungen des Software-Demonstrators zu testen.

Neben diesen Dateien können auch CSV-Dateien, welche lediglich die Überschriften für die einzutragenden Dateien aufweisen, auf den Homepages der beiden Forschungseinrichtungen heruntergeladen werden. Aufgrund der Vielzahl von in der industriellen Praxis genutzten Enterprise Resource Planning (ERP) Systemen, müssen die Daten vom Anwender in das für den Software-Demonstrator erforderliche Format überführt werden. Es existieren einige freiverfügbare Softwareprogramme wie beispielsweise KNIME [4], die sich für eine Überführung in das geforderte Datenformat eignen. Da diese Programme auf Drag-and-Drop basieren sind hierfür keine bzw. kaum Programmierkenntnisse erforderlich. Nach einer einmaligen Programmierung des Knotennetzwerks, überführt dieses die ERP-Datenauszüge automatisch in die gewünschte Form. Um eine hohe Datenqualität und -integrität sicherzustellen, erfolgt nach dem Einlesen der Daten eine automatische Überprüfung der Daten.

Für den Fall, das eine Unstimmigkeit festgestellt wird, wird dem Anwender die entsprechende Spalte sowie die festgelegten Spezifikationen angezeigt. Basierend darauf kann der Anwender zwischen dem Einlesen eines neuen Datensatzes und der manuellen Anpassung der Tabellenblätter wählen. Der Überprüfungsvorgang wird solange wiederholt, bis keine Unstimmigkeiten mehr vorliegen. Anschließend wird die Startoberfläche wieder geöffnet. Nachfolgend sind alle für den Software-Demonstrator notwendigen Daten sowie deren Anwendungsbereich aufgelistet (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Notwenige Daten für den Software-Demonstrator

Daten	Anwendungsbereiche
Anzahl Produktionsstufen	Konfiguration
KEP Position	Konfiguration
Verfügbare Kapazitäten	Konfiguration
Produktbezeichnung	Sortierung, Zuordnung
Kundenbestellungen	Klassifizierungen, Losgrößenbildung, Bestandsdimensionierung, Eingrenzung des Lösungsraumes, Kostenvergleich
Terminabweichungen	Klassifizierungen, Sicherheitszeitberechnung, Eingrenzung des Lösungsraumes
Aktuelle Losgröße	Losgrößenberechnung, Potentialausweisung
Lagerkostensatz	Losgrößenberechnung, Kostenvergleich
Rüstkosten	Losgrößenberechnung, Kostenvergleich
Rohmaterial Bestellmenge	Bestandsdimensionierung
Rohmaterialwert	Bestandsdimensionierung
Rohmaterial Wiederbeschaffungszeit	Bestandsdimensionierung
Gewünschter Servicegrad im Fertigwarenlager	Bestandsdimensionierung, Eingrenzung des Lösungsraumes
Gewünschte Liefertermineinhaltung	Sicherheitszeitberechnung, Eingrenzung des Lösungsraumes
Kundenwunschlieferzeit	Eingrenzung des Lösungsraumes
Bearbeitungszeiten	Eingrenzung des Lösungsraumes
Produkthaltbarkeit	Eingrenzung des Lösungsraumes
Rüstzeiten	Eingrenzung des Lösungsraumes
Herstellkosten	Kostenvergleich
Kapitalbindungskostensatz	Kostenvergleich
Lieferverzugsstrafe	Kostenvergleich
Aktuelle Auftragsabwicklungsstrategie	Potentialausweisung

Für den Fall, dass nicht alle Daten beim Anwender vorliegen, sind einige Werte bereits im Software-Demonstrator hinterlegt. Alternativ zur Angabe der aktuellen Losgröße für jedes Produkt, kann eine Losgrößenberechnung durchgeführt werden. Sofern Aspekte, wie z.B. die Lieferverzugsstrafe oder die Produkthaltbarkeit, für die betrachteten Produkte nicht relevant sind, kann der Anwender diese Werte entsprechend nullen bzw. sehr hohe Werte einsetzen. Um den Lösungsraum einzugrenzen, die Lösungsgüte zu erhöhen oder weitere Analysen sowie Auswertungen zu ermöglichen, existiert eine Reihe von optionalen Daten (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Optionale Daten für den Software-Demonstrator

Daten	Anwendungsbereiche
Feste Strategie	Eingrenzung des Lösungsraums
Ausgeschlossene Strategie	Eingrenzung des Lösungsraums
Aktuelle Klassifizierungen	Eingrenzung des Lösungsraums, Potentialausweisung
Feste Losgröße	Eingrenzung des Lösungsraums, Losgrößenbildung
Verkaufspreis Endprodukt	Klassifizierungen
Logistikkostenfaktor	Losgrößenberechnung
Minimale Losgröße	Losgrößenberechnung
Rundungswert Losgröße	Losgrößenberechnung
Zusätzlicher Steuerungsaufwand	Kostenvergleich
Aktueller Mittlerer Bestand	Potentialausweisung
Aktueller Sicherheitsbestand	Potentialausweisung
Prozentuale Variation Kundenaufträge	Sensitivitätsanalyse
Kritisches System	Analyse der Belastungsflexibilität
Belastung des kritischen Systems	Analyse der Belastungsflexibilität
Produktgröße	Lagerfläche
Phase des Produktlebenszykluses	Ergebnisinterpretation

Als eine der weiterführenden Analysen im Rahmen der Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie, kann die Belastungsflexibilität basierend auf einer kritischen Produktionsstufe oder einem kritischen Arbeitssystem untersucht werden. Sofern ein kritisches Arbeitssystem herangezogen wird, wird der Anwender nach dem Klicken auf den Button „Auftragsabwicklungsstrategie bestimmen“ und der Angabe aller hierfür notwendigen Parameter aufgefordert, eine weitere Datei im CSV-Format einzulesen. Eine entsprechende Beispieldatei für die Belastungsflexibilität steht mit den anderen Dateien zum Download bereit.

Die Bestimmung der Auftragsabwicklungsabwicklungsstrategie kann nicht nur für ein Endprodukt, sondern auch für Halbfabrikate erfolgen. Hierfür sind die Kundenaufträge durch die Produktionsaufträge für die entsprechenden Halbfabrikate zu ersetzen. Anstelle der Kundenwunschlieferzeit ist die Zeitspanne anzugeben, nach der das betrachtete Halbfabrikat für das zugehörige Endprodukt basierend auf dessen gewählter Auftragsabwicklungsstrategie benötigt wird. Sofern sich die Zeitpunkte sehr stark unterscheiden, kann das gleiche Halbfabrikat als eine Art Variante mehrfach für die verschiedenen Endprodukte angelegt werden. Dies kann dazu führen, dass ein Halbfabrikat für ausgewählte Endprodukte im Zwischenlager vorgehalten wird und für andere Endprodukte die Produktion des gleichen Halbfabrikates erst nach dem Eingang einer Kundenbestellung gestartet wird. Das gleiche Vorgehen kann auch bei sehr stark unterschiedlichen Kundenwunschlieferzeiten für Endprodukte angewandt werden. Durch Veränderung der Auftragsabwicklungsstrategie des Endproduktes sowie durch Variation der Anzahl an verschiedenen Endprodukten oder Kundenaufträgen, welche das entsprechende Halbfabrikat oder Endprodukt benötigen, können somit verschiedene Szenarien für die Halbfabrikate und Endprodukte durchgespielt werden.

4 Anwendung

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Überprüfung aller eingelesenen Daten können Analysen durchgeführt werden. Voranalysen können alleinstehend genutzt oder zur Eingrenzung des Lösungsraums, Differenzierung der Zielgrößen und der Ableitung von Faustregeln herangezogen werden, sie stellen jedoch keinen zwingend notwendigen Bestandteil zur Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie dar. Nachfolgend werden die einzelnen möglichen Voranalysen sowie die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie erläutert.

4.1 Voranalysen

Durch Klicken auf den Button „Voranalysen durchführen“ können nacheinander die folgenden Voranalysen durchgeführt werden:

- ABC-Analyse
- RUS-Analyse
- XYZ-Analyse
- UVW-Analyse
- Losgrößenberechnung

Zu jeder Analyse ist eine kurze Erläuterung sowie weitere Informationen wie z.B. der Richtwerte aufgeführt. Bevor die jeweilige Analyse durchgeführt wird, erfolgt die automatische Überprüfung des Vorliegens der dafür notwendigen Daten. Sofern eine Analyse durchgeführt wird, können die Ergebnisse der Analyse im Anschluss an die Abfrage aller Voranalysen eingesehen werden. Alternativ können die Ergebnisse der Analysen zu einem späteren Zeitpunkt durch Klicken auf den Button „Bestehende Auswertung anzeigen“ aufgerufen werden. In der Ergebnisansicht für die jeweiligen Analysen können die genutzten Parameter direkt angepasst und die Analyse mit diesen neu durchgeführt werden. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisansicht einer beispielhaft durchgeführten ABC-Analyse.

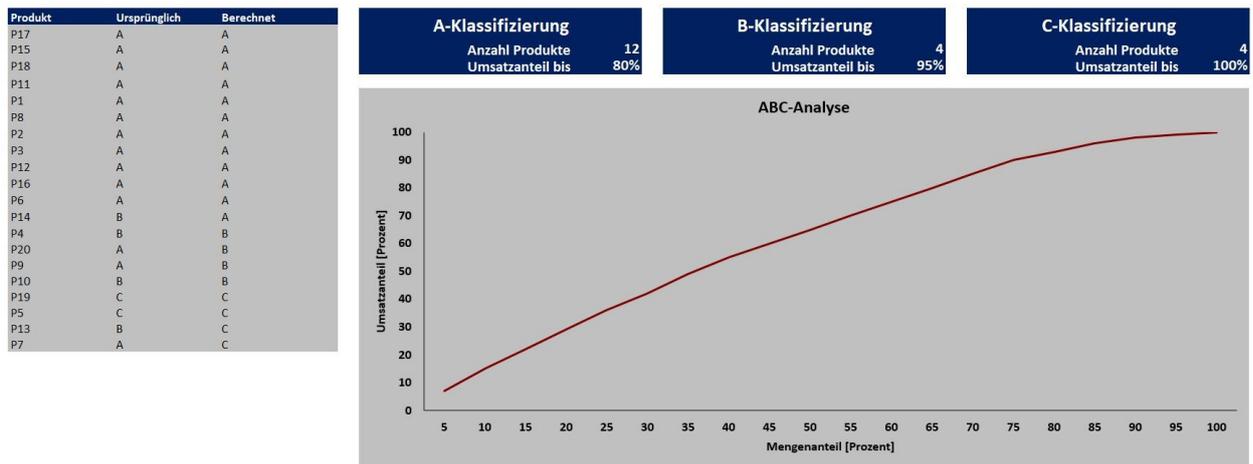


Abbildung 4: Ergebnisansicht der ABC-Analyse

Die in der industriellen Praxis vorliegenden Komplexität des Materialflusses, die zunehmende Änderungsgeschwindigkeit und das breite Produktportfolio erfordern den Einsatz verschiedener Klassifizierungsmethoden (vgl. Abbildung 5) zur Bestimmung des angemessenen Planungs- und Überwachungsaufwand für die einzelnen Produkte und dementsprechend zur Eingrenzung des Lösungsraumes.

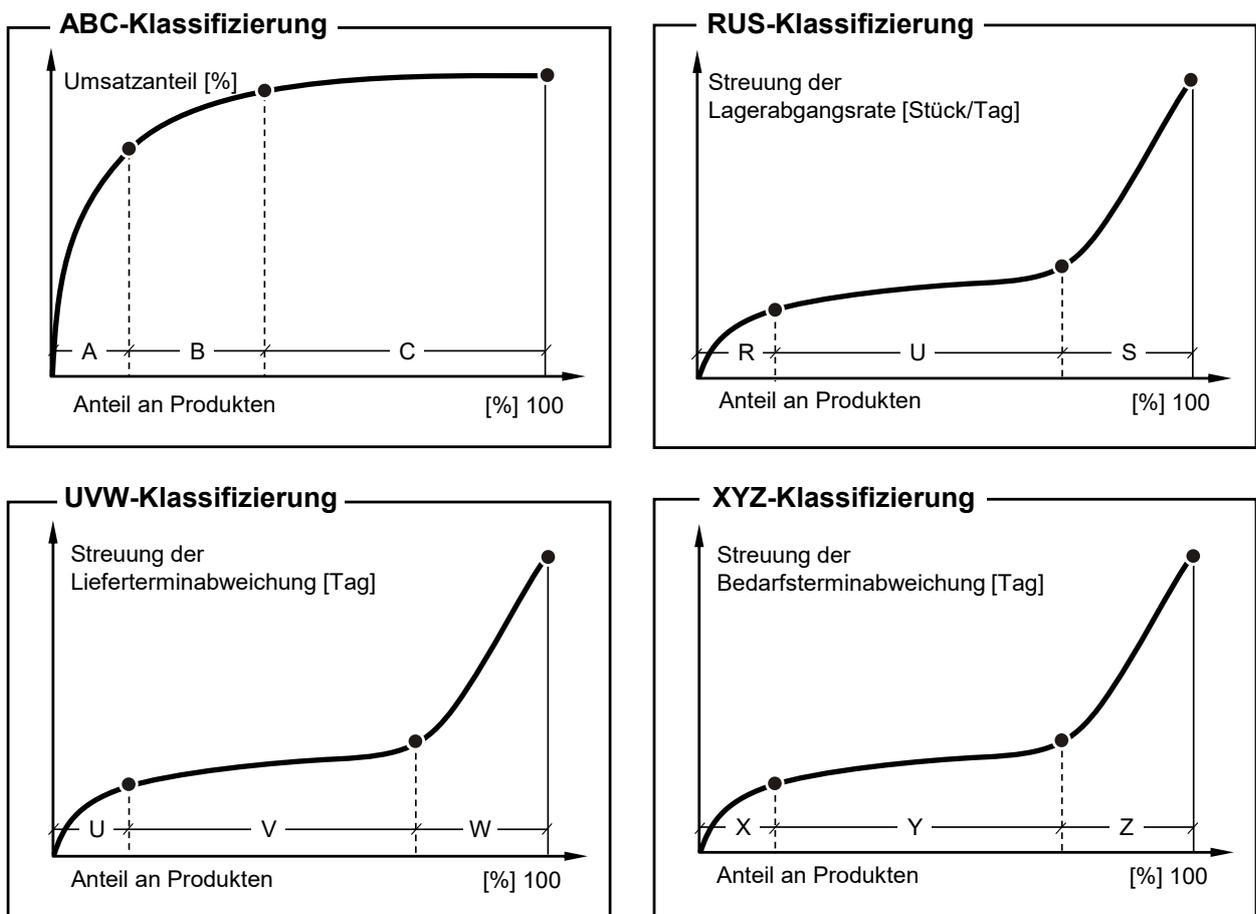


Abbildung 5: Ausgewählte Methoden zur Klassifizierung von Produkten [5]

Die wohl bekannteste Methode ist die ABC-Analyse (vgl. Abbildung 5, oben links). Mithilfe der ABC-Analyse können Produkte basierend auf ihrem Wert oder dem mit ihnen generierten Umsatzes bewertet werden [6]. Idealerweise werden 80% des Umsatzes mit lediglich 20% der Kunden oder Produkte erzielt. Obwohl diese Werte in der Realität nur selten erreicht werden, werden in vielen Fällen 80% (A-Produkte), 15% (B-Produkte) und 5% (C-Produkte) als Standardwerte für die ABC-Analyse verwendet. Die UVW-Analyse (vgl. Abbildung 5, unten links) fokussiert die Streuung der Lieferterminabweichung und ermöglicht somit die Gruppierung hinsichtlich der Lieferzuverlässigkeit von Lieferanten. Diese Analyse kann genutzt werden, um sowohl Produkte als auch Lieferanten zu klassifizieren. Im Software-Demonstrator steht die Versorgungssicherheit im Fokus, sodass eine vorzeitige Lieferung als unkritisch deklariert wird. Die Bewertung der Produkte basiert daher nicht auf der Streuung der Lieferterminabweichung, sondern auf der maximalen positiven Lieferterminabweichung.

Bei der RUS-Analyse (vgl. Abbildung 5, oben rechts) werden Produkte basierend auf der Konstanz der Bedarfsrate klassifiziert [7]. Hierfür wird der Variationskoeffizienten genutzt. Der Variationskoeffizient ist der Quotient von Mittelwert und Standardabweichung der Bestellmenge für eine festgelegte Periodenlänge. Im Rahmen der XYZ-Analyse (vgl. Abbildung 5, unten rechts) werden Produkte basierend auf dem Nullperiodenanteil hinsichtlich der Streuung ihrer Bestell- oder Bedarfstermine eingeteilt. Der Nullperiodenanteil kann entweder basierend auf historischen Daten bestimmt oder unter Verwendung der folgenden Formel prognostiziert werden [8]:

$$w_{PE}(0) = V^{\lambda/(1-V)} = e^{-\lambda}, \text{ für } V \rightarrow 1 \quad (1)$$

mit	
i	Lagerhaltungskostensatz je Untersuchungszeitraum [%]
m	Bedarf im Untersuchungszeitraum [Stück]
s	Herstellkosten [€/Stück]
V	Variabilität
$w_{PE}(0)$	Nullperiodenanteil
λ	Periodendurchsatz

Im Software-Demonstrator basiert die Ermittlung des Nullperiodenanteils auf den eingelesenen Daten, jedoch ist die Formel zur Prognose im VBA-Code ebenfalls hinterlegt. Es ist zu beachten, dass die Ergebnisse der RUS- Analyse und der XYZ-Analyse stark von der gewählten Periodenlänge abhängen. Die Periodenlänge muss lang genug sein, um stochastischen Schwankungen herauszumitteln, aber auch kurz genug sein, um zeitliche Veränderungen erkennbar zu machen. Daher können für diese Klassifizierungsmethoden weder feste Richtwerte für die Periodenlänge noch für die Grenzwerte angegeben werden.

Aufgrund der Vielzahl an in der Literatur und industriellen Praxis existierenden Klassifizierungsmethoden besteht im Software-Demonstrator die Möglichkeit der Integration der Ergebnisse einer weiteren freiwählbaren Klassifizierung wie z.B. einer GMK-Analyse (Klassifizierung nach dem Volumen) oder einer EFG-Analyse (Klassifizierung nach der Wiederbeschaffungszeit). Bis zu drei der oben aufgelisteten Klassifizierungen oder zwei dieser Klassifizierungen und eine eigene weitere Klassifizierung können im Rahmen der Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie kombiniert und zur Eingrenzung des Lösungsraumes oder zur Differenzierung der Zielgrößen herangezogen werden.

Zur Ermittlung der kostenoptimalen Losgröße im Software-Demonstrator wird die multikriterielle Losgrößenberechnung nach MÜNZBERG [9] unter Berücksichtigung von eventuell existierenden Mindestlosgrößen und z.B. aufgrund von Ladungsträgern vorliegenden Rundungswerten herangezogen. Dieses Verfahren erweitert das Grundmodell der Minimierung der Summe aus Lagerhaltungskosten und Rüstkosten von ANDLER [10] und HARRIS [11] um zusätzliche logistische Einflussfaktoren (u. a. Durchlaufzeit, Termintreue und Flexibilität). Hierbei liegt die Annahme zugrunde, dass die Rüstkosten reihenfolgeunabhängig sind. Abbildung 6 visualisiert die Grundidee sowie die Zusammenhänge zwischen der Losgröße und ausgewählten Kostengrößen.

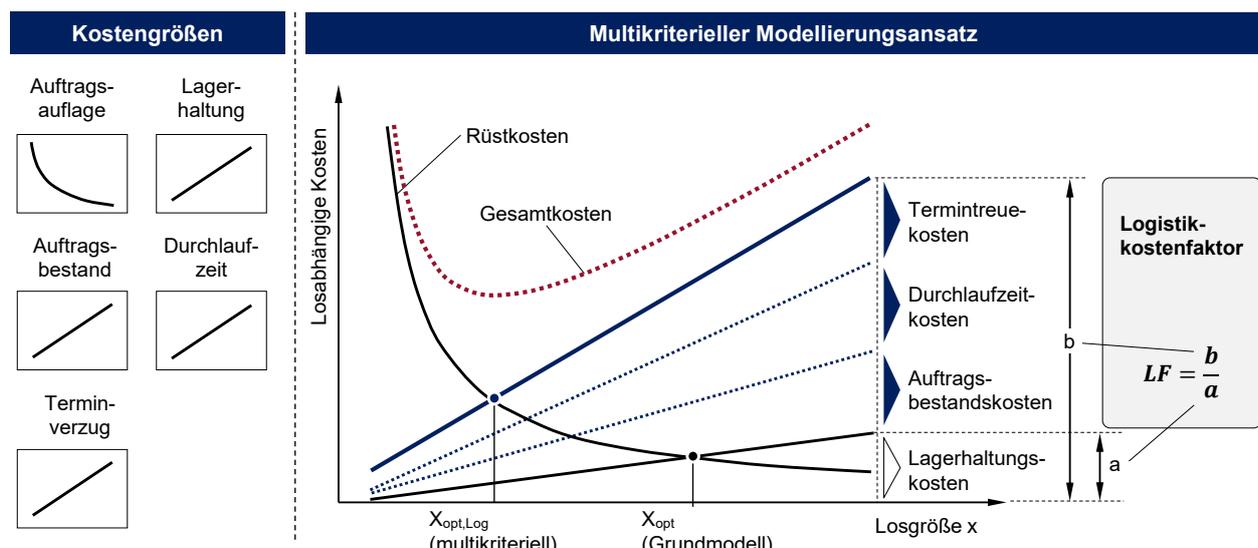


Abbildung 6: Grundidee der multikriteriellen Losgrößenbildung [9]

Steigende Losgrößen führen zu einer Erhöhung der mittleren Durchlaufzeit und einer erhöhten Streuung der Durchlaufzeiten. Dies führt zu einer geringeren Flexibilität und somit zu einem höheren Terminverzug. [12] Der sogenannte Logistikkostenfaktor setzt diese losgrößeninduzierten Kosten in Relation zu den Lagerhaltungskosten. Die optimale Losgröße ergibt sich somit zu [9]:

$$x_{opt,Log} = \sqrt{\frac{2 * E * m}{LF * i * s}} \quad (2)$$

mit

E	Kosten je Rüstvorgang [€]
i	Lagerhaltungskostensatz je Untersuchungszeitraum [%]
LF	Logistikkostenfaktor [-]
m	Bedarf im Untersuchungszeitraum [Stück]
s	Herstellkosten [€/Stück]
$x_{opt,Log}$	Optimale Losgröße [Stück]

Der Wert des Logistikkostenfaktors steht in direktem Zusammenhang mit der Fertigungstiefe. Zahlreiche durchgeführte Simulationsstudien sowie Anwendungen in der industriellen Praxis empfehlen einen Logistikkostenfaktor zwischen 4 und 16. Für viele Industrien wird 9 als Standardwert genutzt. Weiterführende Informationen zur multikriteriellen Losgrößenberechnung sowie dem Logistikkostenfaktor sind MÜNZBERG [9] zu entnehmen.

4.2 Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie

Durch Klicken auf den Button „Auftragsabwicklungsstrategie bestimmen“ wird der Lösungsraum durch eine Reihe von Abfragen eingegrenzt. Basierend auf den Ergebnissen der eventuell vom Anwender mit oder ohne Nutzung des Software-Demonstrators durchgeführten Klassifizierungen kann eine Auftragsabwicklungsstrategie für ausgewählte Produktgruppen festgelegt oder ausgeschlossen werden.

Sofern mehr als eine Produktionsstufe im Rahmen der Systemkonfiguration vorgesehen wurde, kann der Anwender für jede Produktgruppe zwischen MTS, MTO und ATO wählen. Auftragsabwicklungsstrategien festzulegen oder ausschließen, bietet die Möglichkeit die Auswirkungen der Veränderung eines Parameters schrittweise zu analysieren. Dies kann jedoch auch dazu führen, dass für einige Produkte keine mögliche Lösung gefunden werden kann. Eine entscheidende Größe hinsichtlich des Lösungsraums ist die Angabe der gewünschten Werte für die logistischen Zielgrößen Servicegrad im Fertigwarenlager und Liefertermineinhaltung. Um die Vergleichbarkeit der Lösungen zu fördern, wird empfohlen gleiche oder sehr ähnliche Werte für beide Zielgrößen zu wählen. Eine geringe Variation der Zielgrößen kann genutzt werden, um Mehrkosten oder Potentiale aufzuzeigen. Zudem können die Zielgrößen ebenfalls basierend auf den Ergebnissen von Klassifizierungen abgestuft werden. Da eine Anwendung für Halbfabrikate ebenfalls möglich ist, sind die Zielgrößen im Software-Demonstrator lediglich als Servicegrad und Termineinhaltung bezeichnet.

Um die Auswirkungen von Nachfrageschwankungen antizipieren zu können und gleichzeitig eine vorrausschauende aber nicht übereilte Umstellung der Auftragsabwicklungsstrategie zu ermöglichen, kann eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. Hierfür kann entweder die Bestellmenge einzeln oder in Kombination mit der Anzahl an Bestellungen um einen festgelegten Prozentsatz variiert werden. Da die Auftragsabwicklungsstrategie sowohl für den ursprünglichen Datensatz als auch für die Versionen mit den veränderten Kundenauftragsdaten bestimmt werden muss und alle zuvor durchgeführten Vorabanalysen für den veränderten Datensatz zusätzlich durchgeführt werden müssen, erhöht die Sensitivitätsanalyse die Rechenzeit drastisch.

Bei der Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie sollten ebenfalls Wechselwirkungen zwischen den Produkten berücksichtigt werden. Die isolierte Optimierung einzelner Produkte kann das gesamte Produktionssystem negativ beeinflussen. Im Software-Demonstrator sind daher weiterführende Analyseaspekte wie beispielsweise die notwendige Lagerkapazität im Falle einer MTS-Produktion oder den Anteil der Übergangszeit an der Durchlaufzeit im Falle einer MTO-Produktion berücksichtigt worden. Zudem hat der Anwender im Anschluss an die Entscheidung über die Durchführung der Sensitivitätsanalyse die Möglichkeit, eine Analyse der Belastungsflexibilität vorzunehmen. Als Grundlage hierfür kann entweder eine kritische Produktionsstufe oder ein kritisches Arbeitssystem genutzt werden. Wie bereits in Kapitel 3.2 erwähnt ist bei Auswahl eines kritischen Arbeitssystems eine zusätzliche CSV-Datei einzulesen.

Nachdem alle Abfragen erfolgreich abgeschlossen wurden, wird die Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie gestartet. Nachfolgend werden die im Software-Demonstrator zum Vergleich der verschiedenen Auftragsabwicklungsstrategien und der Berechnung der Kosten der einzelnen Strategien basierend auf den vom Anwender eingegebenen Werten für die Zielgrößen automatisch durchgeführten Schritte erläutert (vgl. Abbildung 7). Im ersten Schritt erfolgt die Überprüfung der möglichen Auftragsabwicklungsstrategien. Darauf aufbauend erfolgt im zweiten Schritt die Berechnung der Kosten aller möglichen Auftragsabwicklungsstrategien. Im letzten Schritt wird die Auftragsabwicklungsstrategie mit den geringsten Kosten ausgewählt.

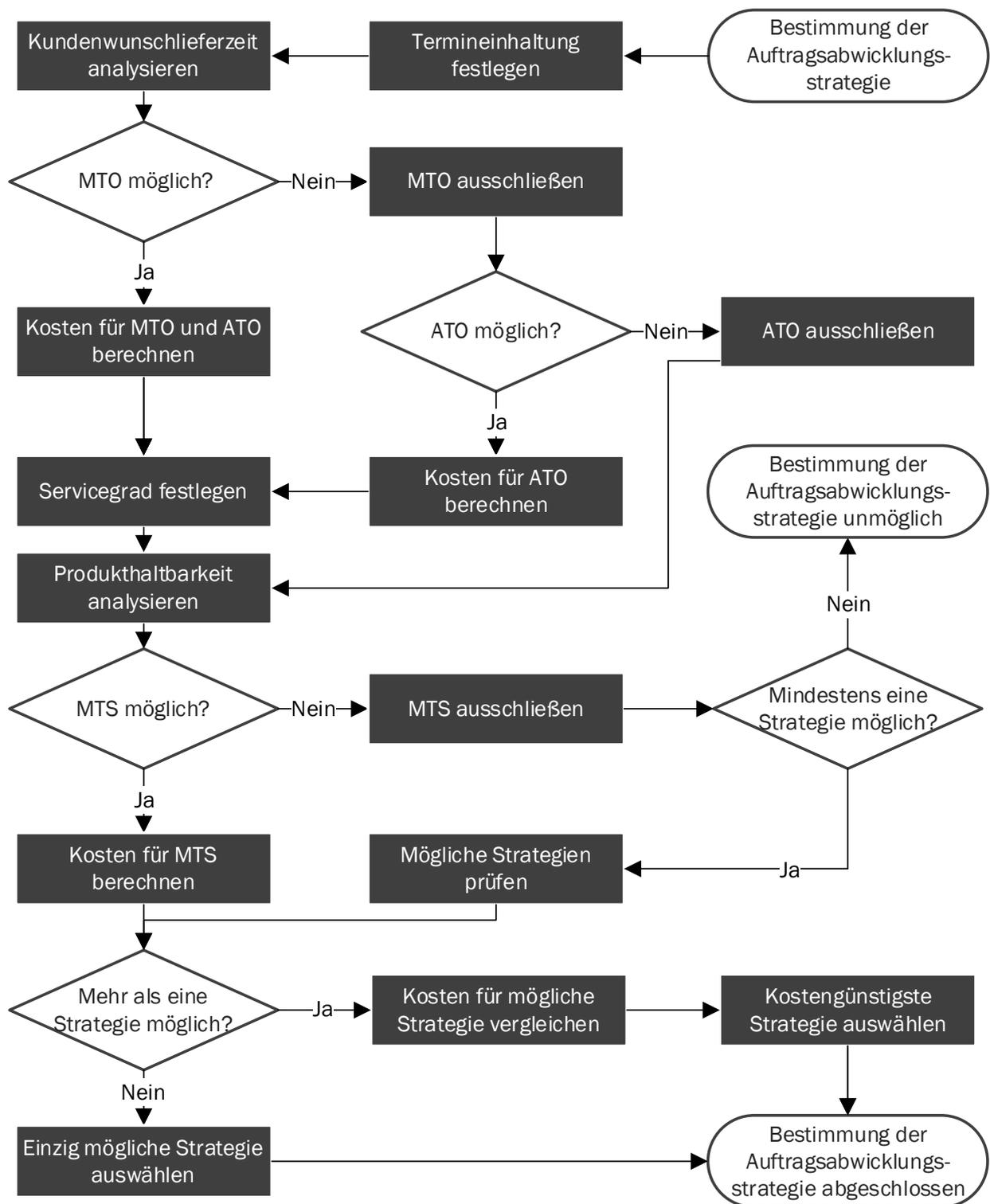


Abbildung 7: Vorgehensweise zur Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie

Abbildung 8 fasst die Kostenbestandteile Bestandskosten, Rüstkosten und Lieferverzugskosten für die verschiedenen Auftragsabwicklungsstrategien zusammen. Die Bestandskosten setzen sich aus den Lagerkosten, den Kapitalbindungskosten und den Wagniskosten zusammen. Im Software-Demonstrator wird angenommen, dass für das Rohmaterial keine Wagniskosten entstehen.

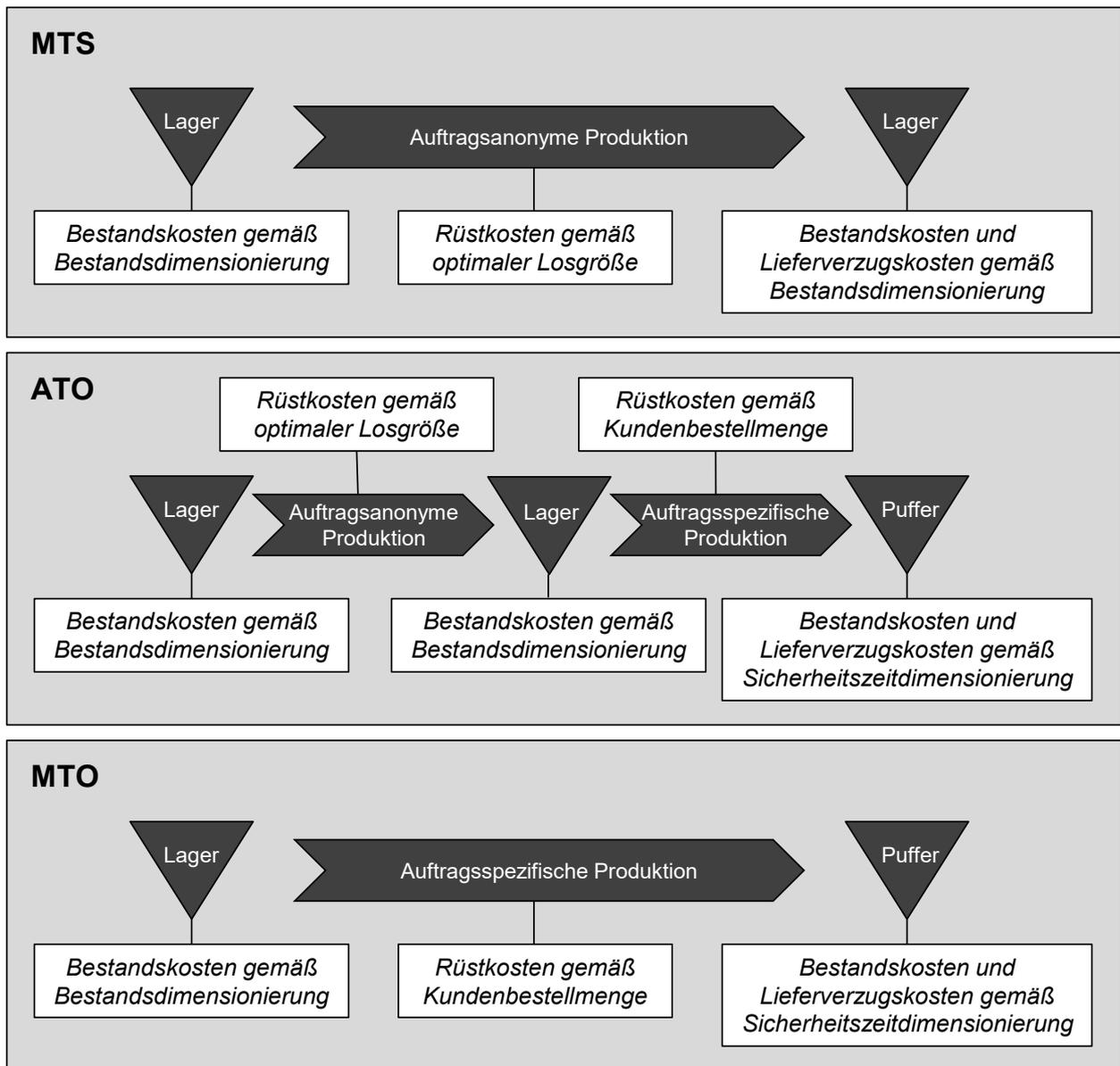


Abbildung 8: Kostenbestandteile in direktem Zusammenhang mit der Auftragsabwicklungsstrategie

Für eine MTO und eine ATO-Produktion wird die geforderten Liefertermineinhaltung durch den Abgleich der Lieferzeit mit der Kundenwunschlieferzeit geprüft. Die Lieferzeit setzt sich aus der Summe aus der für das Auftragsmanagement benötigten Zeit, der kundenauftragspezifischen Durchlaufzeit und der Versandzeit zusammen.

Zur Bestimmung der kundenauftragspezifischen Durchlaufzeit wird die mittlere Bestellmenge der Kundenaufträge als Losgröße gesetzt und mit den Vorgabewerte für die kundenauftragspezifisch durchgeführten Produktionsprozesse sowie den Angaben zu den Übergangszeiten kombiniert.

Die Termineinhaltungskennlinie [13] wird genutzt um die notwendige Sicherheitszeit aufgrund der Terminabweichungen zu berechnen. Die Termineinhaltungskennlinie beschreibt die Wirkzusammenhänge der logistischen Zielgrößen Lieferzeit, Fertigwarenbestand und Termineinhaltung eines Produktionsbereichs oder eines Unternehmens (Abbildung 9). Detaillierte Informationen zur Herleitung der Termineinhaltungskennlinie sind bei SCHMIDT [13] zu finden.

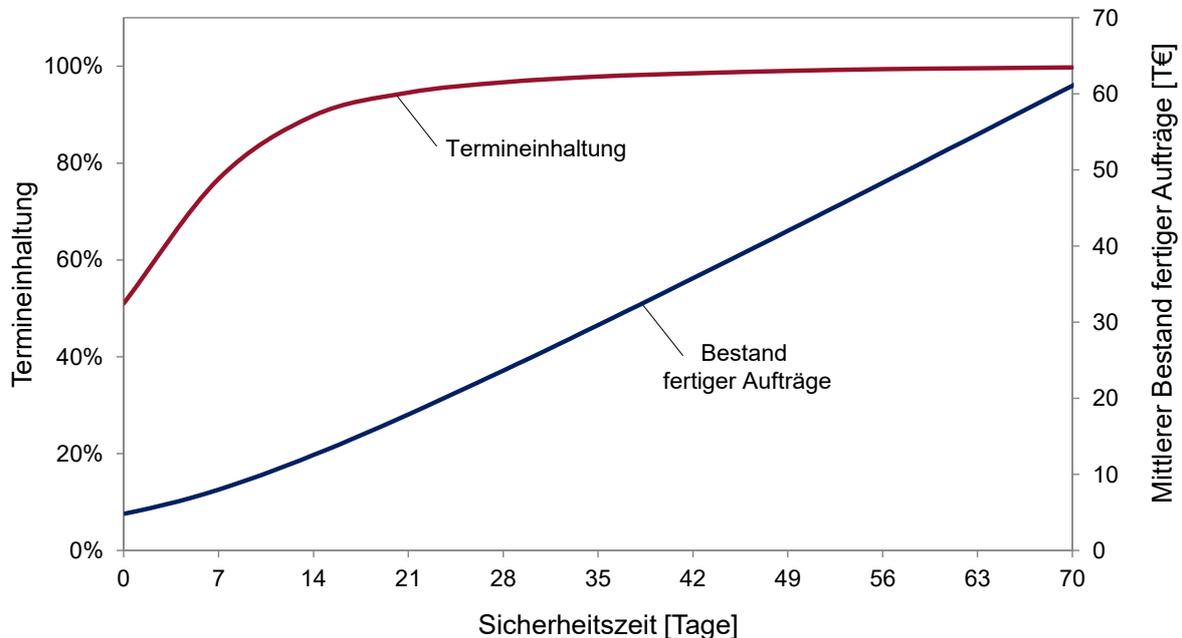


Abbildung 9: Beispielhafte Termineinhaltungskennlinie

Sofern die Kundenwunschlieferzeit zu der geforderten Liefertermineinhaltung erreichbar ist, werden die Rüstkosten, die Kosten für den Bestand an fertiggestellten Aufträgen sowie eventuell anfallende Lieferverzugskosten kalkuliert. Hierfür werden die folgenden Formeln angewandt:

$$\text{Rüstkosten} = E * \frac{m}{X_{Ab,m}} \quad (3)$$

$$\text{Bestandskosten} = \frac{X_{Ab,UZ}}{UZ} * \frac{1}{\sigma * \sqrt{2 * \pi}} * \int_{-\infty}^{SZ} \int_{-\infty}^{SZ} e^{-\frac{(TA-\mu)^2}{2 * \sigma^2}} dTA * dTA * i * s \quad (4)$$

$$\text{Lieferverzugskosten} = \begin{cases} 0 & , \text{für } (LZ - SZ) \leq 0 \\ \sum_1^{X_{Ab,UZ}} (LZ - SZ) * l * p, & \text{für } (LZ - SZ) > 0 \end{cases} \quad (5)$$

mit

- E Kosten je Rüstvorgang [€]
- m Bedarf im Untersuchungszeitraum [Stück]
- i Lagerhaltungskostensatz je Untersuchungszeitraum [%]
- l Lieferverzugskosten je Tag und Produkt [€/(Tag * Produkt)]
- LZ Lieferzeit [Tage]
- p Häufigkeit [%]
- s Herstellkosten [€/Stück]
- SZ Sicherheitszeit [Tage]
- TA Terminabweichung [-]
- UZ Untersuchungszeitraum [Tage]

$X_{Ab,m}$	Mittlere Abgangsmenge [Stück]
$X_{Ab,UZ}$	Abgang im Untersuchungszeitraum [Stück]
μ	Mittlere Terminabweichung [-]
σ	Standardabweichung [-]

Im Software-Demonstrator wird bei der Berechnung der Lieferverzugskosten die vom Anwender angegebenen Funktionstyp (Lineare Funktion, Potenzfunktion oder Exponentialfunktion) und der dazugehörige Multiplikator oder Exponent berücksichtigt. Sofern der eingelesene Datensatz keine Spezifikation zum Funktionstyp enthält, wird automatisch Formel 5 angewendet, also eine Lineare Funktion mit dem Multiplikator 1, welches den Lieferverzugskosten pro Tag entspricht, angenommen.

Für eine MTS-Produktion wird die Einhaltung der Produkthaltbarkeit überprüft. Hierfür werden Lagerkennlinien [14] eingesetzt. Lagerkennlinien beschreiben den Wirkzusammenhang zwischen den logistischen Zielgrößen Servicegrad, Lieferverzug und mittlerer Lagerbestand (vgl. Abbildung 10). Detaillierte Informationen zur Herleitung von Lagerkennlinien sind NYHUIS [14] zu entnehmen.

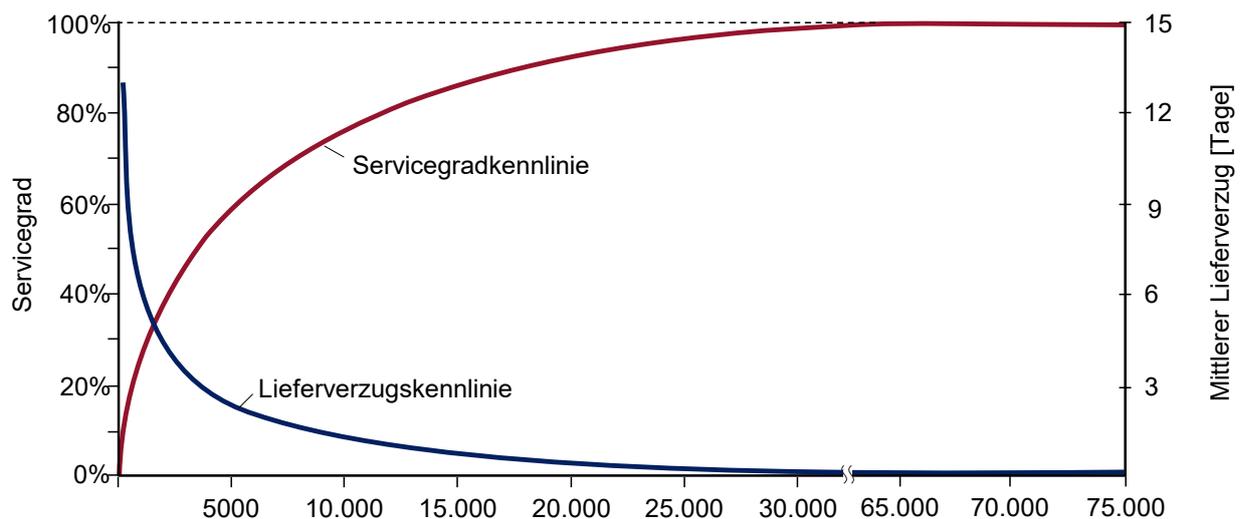


Abbildung 10: Beispielhafte Lagerkennlinien

Als Lagerabgangsrate dient die mittlere Bestellmenge der Kundenaufträge und als Lagerzugang die Losgröße. Ausgehend von dem im Fertigwarenlager geforderten Servicegrad wird die mittlere Lagerdauer eines Produktes bestimmt und der angegebenen maximalen Lagerverweildauer gegenübergestellt. Wird diese Dauer nicht überschritten, erfolgt die Ermittlung der Rüstkosten, der eventuell auftretenden Lieferverzugskosten sowie der Lager- und Kapitalbindungs- und Wagniskosten für das Fertigwarenlager.

Die Bestandsdimensionierung für das bei allen betrachteten Auftragsabwicklungsstrategien notwendige Rohmateriallager sowie das im Falle einer ATO-Produktion erforderliche Halbfabrikatelage und die Ableitung der dazugehörigen Kosten erfolgt ebenfalls mithilfe von Lagerkennlinien. Um keine zusätzliche Terminabweichung in das System zu induzieren, ist im Software-Demonstrator für das Rohmateriallager sowie für das Halbfabrikatelage ein Ziel-Servicegrad von 100% festgelegt. Sofern andere Ziel-Servicegrade gewünscht sind, ist eine Anpassung des VBA-Codes notwendig. Zur Bestimmung der Kosten werden die folgenden Formeln angewandt:

$$\text{Rüstkosten} = E * \frac{m}{x} \quad (6)$$

$$\text{Bestandskosten} = (BL_0 * (1 - \sqrt[1-t^c]{1-t^c})^2 + (BL_1 - BL_0) * t) * (i + w) * s \quad (7)$$

$$\text{Lieferverzugskosten} = (LV_1 * \sqrt[1-t^c]{1-t^c}) * l * X_{Ab,UZ} * (1 - SG_g(t)) \quad (8)$$

mit

BL_0	Losbestand [Stück]
BL_1	Praktisch minimaler Grenzbestand [Stück]
C	Funktionswert der C_{Norm} -Funktion [-]
E	Kosten je Rüstvorgang [€]
i	Lagerhaltungskostensatz je Untersuchungszeitraum [%]
l	Lieferverzugskosten je Tag und Produkt [€]
LV_1	Praktisch minimaler Grenzlieferverszug [Tage]
m	Bedarf im Untersuchungszeitraum [Stück]
s	Herstellkosten [€/Stück]
$SG_g(t)$	Gewichteten Servicegrad [%]
t	Laufvariable ($0 < t < 1$) [-]
w	Wagniskostensatz je Untersuchungszeitraum [%]
x	Losgröße [Stück]
$X_{Ab,UZ}$	Abgang im Untersuchungszeitraum [Stück]

Analog zu der Berechnung der Lieferverzugskosten bei einer ATO- oder MTO-Produktion erfolgt die Berechnung der Lieferverzugskosten für eine MTS-Produktion im Software-Demonstrator ebenfalls basierend auf dem vom Anwender angegebenen Funktionstyp. Der Losbestand BL_0 entspricht der Hälfte der Zugangsmenge, welche mit der Losgröße gleichgesetzt werden kann. Im Rohmateriallager entspricht die Lagerzugangsmenge nicht der Produktionslosgröße, sondern der Beschaffungslosgröße. Der praktisch minimale Grenzbestand BL_1 ergibt sich unter Berücksichtigung der störungsbedingt notwendigen Sicherheitsbestände. Der praktisch minimale Grenzlieferverszug LV_1 lässt sich ähnlich ermitteln.

Über den gewünschten Servicegrad lässt sich die Laufvariable t berechnen. Der Funktionswert der C_{Norm} -Funktion für Realprozesse liegt zwischen 0,25 und 0,4, wobei ein in der Praxis geläufiger Wert $C = 0,35$ ist [15]. Für den Fall, dass der Sicherheitsbestand basierend auf dem aktuellen Bedarfsverlauf dynamisch berechnet wird, bietet sich ein $C = 0,31$ an [16]. Im Software-Demonstrator ist 0,33 als Funktionswert der C_{Norm} -Funktion hinterlegt. Dieser Wert kann über das Tabellenblatt „Zwischenspeicher“ angepasst werden.

$$BL_0 = \frac{X_{Zu,m}}{2} \quad (9)$$

$$BL_1 = BL_0 + \sqrt{(TA_{max}^+ * BR_m)^2 + (MA_{max}^-)^2 + ((BR_{max} - BR_m) * WBZ)^2} \quad (10)$$

$$LV_1 = \frac{X_{Zu,m}}{2 * BR_m} + \sqrt{(TA_{max}^-)^2 + \left(\frac{MA_{max}^+}{BR_m}\right)^2 + \left(\frac{(BR_m - BR_{min}) * WBZ}{BR_m}\right)^2} \quad (11)$$

$$t = \sqrt[c]{1 - (1 - SG_g(t))^c} \quad (12)$$

mit

BL_0	Losbestand [Stück]
BL_1	Praktisch minimaler Grenzbestand [Stück]
$X_{Zu,m}$	Mittlere Zugangsmenge [Stück]
TA_{max}^+	Maximale positive Terminabweichung [Tage]
TA_{max}^-	Maximale negative Terminabweichung [Tage]
MA_{max}^+	Maximale positive Mengenabweichung [Stück]
MA_{max}^-	Maximale negative Mengenabweichung [Stück]
BR_{max}	Maximale Bedarfsrate [Stück/Tag]
BR_{min}	Minimale Bedarfsrate [Stück/Tag]
BR_m	Mittlere Bedarfsrate [Stück/Tag]
WBZ	Wiederbeschaffungszeit [Tage]
t	Laufvariable ($0 < t < 1$) [-]
$SG_g(t)$	Gewichteten Servicegrad [%]
C	Funktionswert der C_{Norm} -Funktion [-]

Sofern die Analyse der Belastungsflexibilität ausgewählt wurde, werden Möglichkeiten zur Entkopplung der Produkte zur Bewertung des Potentials eines Belastungsabgleiches mittels des Auf- und Abbaus von Beständen überprüft (vgl. Abbildung 11). Für alle Entkopplungsmöglichkeiten werden die Kosten berechnet. Sofern neben einer MTS- auch eine ATO-Produktion zur Entkopplung möglich ist, werden die Kosten für diese beiden Strategien verglichen und die Strategie mit den geringeren Kosten vorgeschlagen. Anschließend werden durch eine Entkopplung verursachten zusätzlichen Kosten in Relation zum Arbeitsinhalt auf dem kritischen Arbeitssystem oder der kritischen Produktionsstufe gesetzt. Somit kann eine Rangfolge zur Entkopplung gebildet werden.

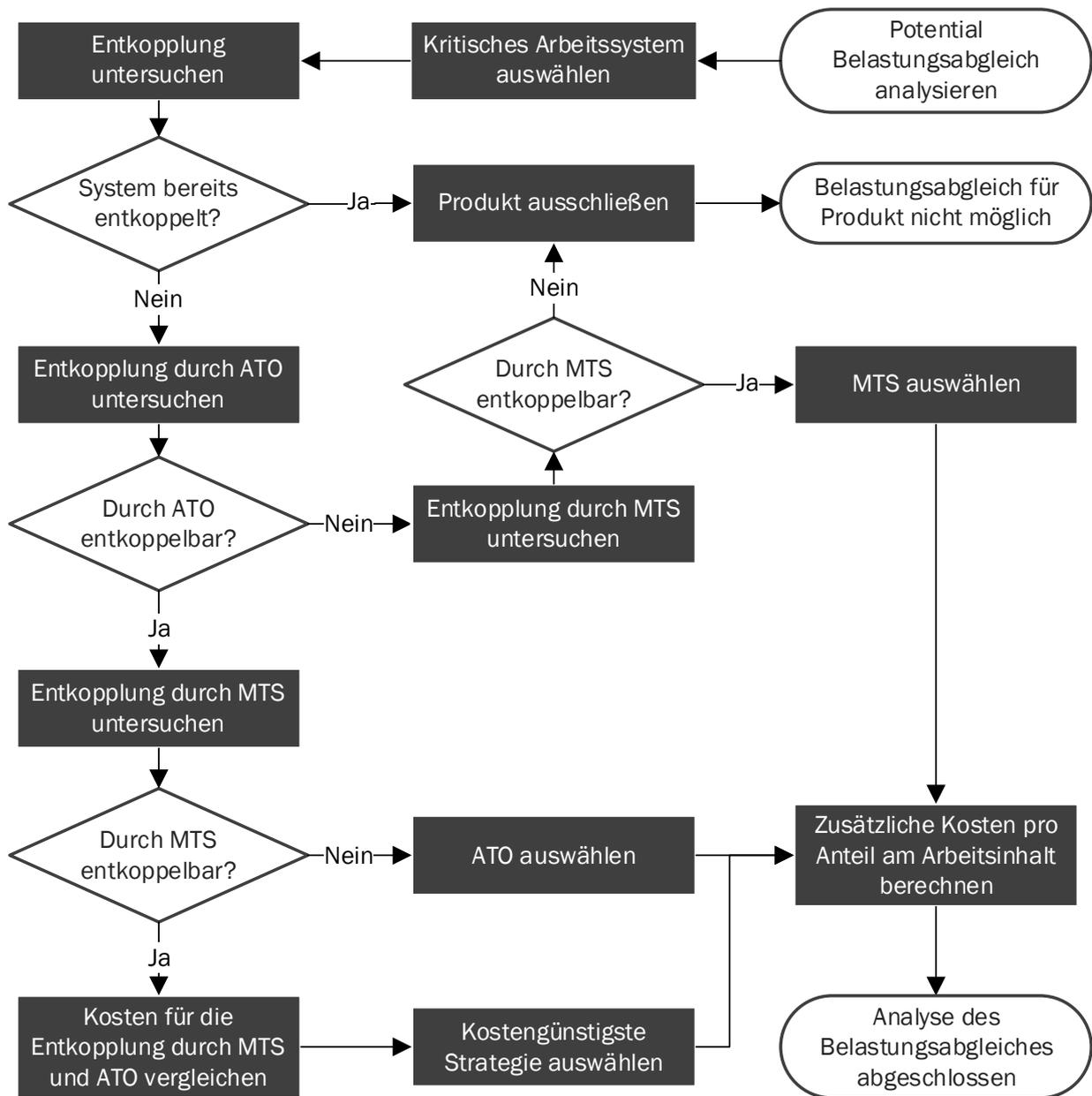


Abbildung 11: Vorgehensweise zur Bewertung des Potentials des Belastungsabgleiches

5 Ergebnisinterpretation

Nachdem die Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie sowie eventuell ausgewählte weiterführende Analysen durchgeführt wurden, wird die Ergebnisdarstellung (vgl. Abbildung 12) geöffnet. Diese Übersicht dient als erster Überblick über die Veränderungen hinsichtlich der gewählten Auftragsabwicklungsstrategien sowie die hierdurch erreichbare Kosteneinsparung.

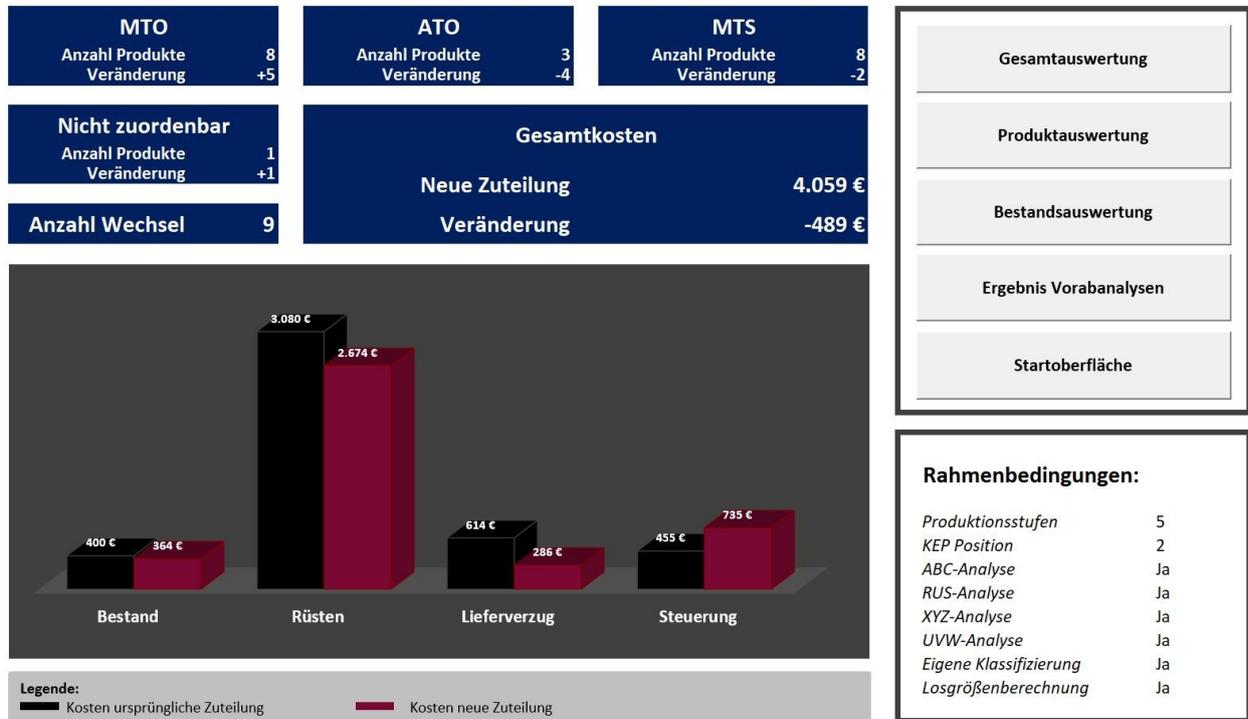


Abbildung 12: Beispielhaftes Ergebnis der Bestimmung der Auftragsabwicklungsstrategie

Der Anwender hat über den Button „Startoberfläche“ die Möglichkeit zur Startoberfläche zurückzukehren, um Anpassungen an der Systemkonfiguration und den Daten vorzunehmen sowie neue Analysen durchzuführen. Sofern keine Veränderungen vorgenommen wurden, gelangt der Anwender über den Button „Bestehende Auswertung anzeigen“ wieder zurück zur Ergebnisübersicht. Diese Möglichkeit eignet sich auch dafür, um die Ergebnisse von bereits durchgeführten Analysen mit Personen aus anderen Bereichen des eigenen Unternehmens zu teilen. Über die Buttons „Gesamtübersicht“, „Produktauswertung“ und „Bestandsauswertung“ können verschiedene Detailauswertung aufgerufen werden. Nachfolgend werden die einzelnen Auswertungsmöglichkeiten thematisiert.

Bei der Gesamtübersicht handelt es sich um eine umfassende tabellarische Übersicht, die es ermöglicht, Veränderungen der Bestände basierend auf Grenzwerten sowie den Wechsel der Auftragsabwicklungsstrategie farblich hervorzuheben (vgl. Abbildung 13).

Für die empfohlene Auftragsabwicklungsstrategie sind Angaben zu den Kosten, den mittleren Beständen sowie den Sicherheitsbeständen für die einzelnen Lagerstufen, die Klassifizierungsergebnisse, die berechneten Losgrößen, die Übergangszeit bei einer MTO-Produktion, der Platzbedarf im Fertigwarenlager bei einer MTS-Produktion sowie gegebenenfalls die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse und der Analyse der Belastungsflexibilität aufgeführt.

Ergebnisse der weiterführende Analysen		Belastungsflexibilität		
Höhere Nachfrage		Auftragsabwicklungsstrategie		Rang
Auftragsabwicklungsstrategie	Gesamtkosten [€]	Auftragsabwicklungsstrategie	Gesamtkosten [€]	
MTS	257,44	Bereits entkoppelt oder Entkopplung nicht möglich		
MTO	246,19	Bereits entkoppelt oder Entkopplung nicht möglich		
ATO	246,58	Bereits entkoppelt oder Entkopplung nicht möglich		
MTO	201,61	Bereits entkoppelt oder Entkopplung nicht möglich		
ATO	126,87	MTS	138,18	5
MTO	202,85	MTS	212,35	6
MTO	37,42	MTS	81,4	8
MTS	254,79	Bereits entkoppelt oder Entkopplung nicht möglich		
MTO	204,4	MTS	203,03	1
ATO	176,03	MTS	181,98	4
MTO	258,21	Bereits entkoppelt oder Entkopplung nicht möglich		
MTO	217,19	MTS	217,07	2
MTO	72,86	MTS	111,71	9
MTS	431,37	Bereits entkoppelt oder Entkopplung nicht möglich		

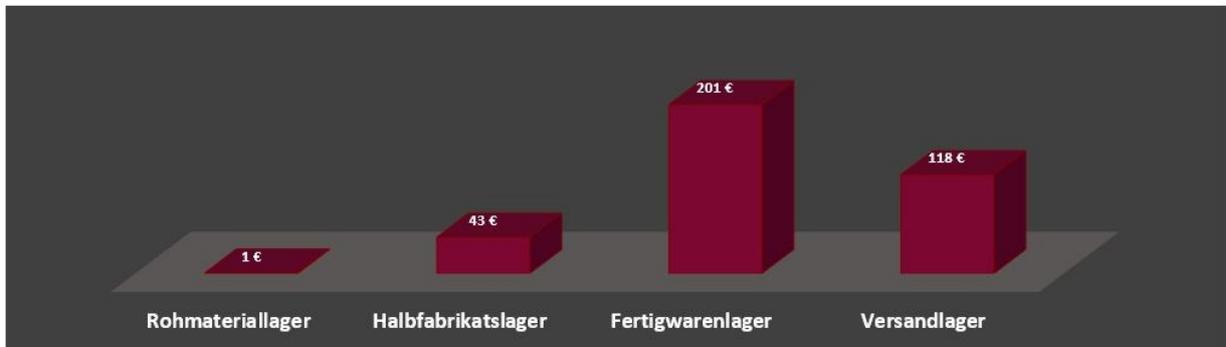
Abbildung 13: Ausschnitt einer beispielhaften Gesamtauswertung

Die Produktauswertung ermöglicht die direkte Gegenüberstellung der Ergebnisse der drei Auftragsabwicklungsstrategien MTS, ATO und MTO (vgl. Abbildung 14). Diese beinhaltet die Kosten aufgliedert in die Bestandteile Lagerhaltung, Kapitalbindung, Wagnis, Auftragswechsel, Lieferverzug und Steuerung. Zudem sind die mittleren Bestände auf den einzelnen Lagerstufen aufgeführt. Sofern eine Auftragsabwicklungsstrategie aufgrund eines zu geringen Wertes einer der beiden logistischen Zielgrößen ausgeschlossen wurde, wird der entsprechende Wert dieser Zielgröße anstelle der Kosten und Bestände angezeigt. Ziel hierbei ist die kritische Reflektion der gesetzten Werte für die Zielgrößen sowie das Aufzeigen von vorhandenem Potenzial zur Kosteneinsparung durch den Wechsel der Auftragsabwicklungsstrategie.

		MTS	Nachfrage		ATO
			Geringer	Höher	
Möglich		Ja	Ja	Ja	Ja
Reduzierte Zielgröße					
Kosten [€]	Lager	9,49	8,88	11,29	9,97
	Kapitalbindung	4,75	4,45	5,65	5,00
	Wagnis	0,95	0,89	1,13	0,33
	Rüsten	139,29	129,29	136,25	107,25
	Lieferverzug	1,09	1,01	1,22	4,63
	Steuerung	0,00	0,00	0,00	19,50
	Gesamt	155,57	144,52	155,54	146,68
Bestände [Stück]	Rohmateriallager	105	91	102	97
	Halbfabrikatslager	0	0	0	28
	Fertigwarenlager	16	15	19	0
	Versandlager	0,0	0,0	0,0	6,6

Abbildung 14: Ausschnitt einer beispielhaften Auswertung eines einzelnen Produktes

Über die Bestandsauswertung gelangt der Anwender zu einer Übersicht der Bestände und der damit einhergehenden Kosten auf den einzelnen Lagerstufen (Abbildung 15). Die Aufschlüsselung in die einzelnen Bestandteile der Bestände (mittlerer Bestand, Losbestand, Sicherheitsbestand) und Kosten (Lagerhaltung, Kapitalbindung, Wagnis) kann für die einzelnen Lagerstufen und entsprechende Buttons aufgerufen werden.



Produkt	Bestandskosten gesamt [€]	Rohmateriallager		Halbfabrikatslager	
		Mittlerer Lagerbestand [Stück]	Bestandskosten [€]	Mittlerer Lagerbestand [Stück]	Bestandskosten [€]
P1	23,45	75	0,03	0	0
P2	18,82	87	0,05	0	0
P3	26,81	99	0,05	47	20,82
P4	14,33	81	0,03	0	0
P5	11,58	58	0,03	21	9,31
P6	15,46	88	0,05	0	0
P7	1,94	70	0,03	0	0
P8	23,22	91	0,05	0	0
P9	13,64	112	0,05	0	0
P10	17,22	66	0,03	30	13,3
P11	25,88	98	0,05	0	0
P12	16,17	123	0,06	0	0
P13	3,51	43	0,03	0	0

Abbildung 15: Ausschnitt eines beispielhaften Ergebnisses der Bestandsdimensionierung

Das Ergebnis der Analyse der Belastungsflexibilität (Abbildung 16) kann über den Button „Auswertung Belastungsflexibilität“ auf dem Tabellenblatt Gesamtauswertung aufgerufen werden. Für jedes Produkt sind die aktuelle Auftragsabwicklungsstrategie und die daraus resultierenden Kosten angegeben. Sofern noch keine Entkopplung vorliegt, ist die hierfür kostengünstige Auftragsabwicklungsstrategie mit den zugehörigen Mehrkosten und dem Rang des Produktes bezüglich des Verhältnissen der Mehrkosten zum Arbeitsinhalt auf dem kritischen System angegeben. Der bereits entkoppelte Anteil des Arbeitsinhaltes steht auf der rechten Seite des Tabellenblattes. Der Anwender kann durch das Setzen eines „X“ in der Spalte „Soll zusätzlich entkoppelt werden“ und anschließendem Klicken auf den Button „Aktualisieren“ verschiedene Szenarien durchgehen. Der hierdurch zusätzlich entkoppelte Anteil des Arbeitsinhaltes am kritischen System sowie die dadurch entstehenden Mehrkosten sind ebenfalls auf der rechten Seite aufgeführt. Um die Aktualisierungsdauer gering zu halten, wird die von Anwender angegebene zusätzliche Entkopplung nicht automatisch auf die anderen Tabellenblätter übertragen, sondern muss über den Button „Entkopplung übertragen“ aktiv vom Anwender gestartet werden.

Bereits entkoppelt	Entkopplung noch möglich			Anteil Arbeitsinhalt [%]	Soll zusätzlich entkoppelt werden
	Auftragsabwicklungsstrategie	Mehrkosten [€]	Rang		
Ja				4,165	
Nein				3,8583	
				0	
Nein				7,0523	
Nein	MTS	20,06	5	6,0337	
Nein	MTS	13,77	6	3,8021	
Nein	MTS	44,52	8	1,1754	
Ja				6,5413	
Nein	MTS	2,04	1	11,7334	x
Nein	MTS	6,73	4	6,3914	
Ja				7,6043	
Nein	MTS	0,72	2	2,6506	x

Abbildung 16: Ausschnitt eines beispielhaften Ergebnisses der Analyse der Belastungsflexibilität

Die in diesem Abschnitt genutzten Abbildungen lassen sich mit den Beispieldatensätzen unter Nutzung der folgenden Einstellungen reproduzieren:

- Anzahl Produktionsstufen: 5
- Lage des KEP: zwischen der Produktionsstufe 2 und 3
- Differenzierung der Kapazitäten: Nein
- Kapazität: 24 Stunden pro Tag an 7 Tagen pro Woche
- Lagerkostensatz: 10%
- Kapitalbindungskostensatz: 5%
- ABC-Analyse: Ja
- Grenzwerte ABC-Analyse: 80%; 15; 5%
- RUS-Analyse: Ja
- Periode RUS-Analyse: Woche
- Grenzwerte RUS-Analyse: 0; 0,2; 0,5
- XYZ-Analyse: Ja
- Periode XYZ-Analyse: Woche
- Grenzwerte XYZ-Analyse: 30%, 30%, 40%
- UVW-Analyse: Ja
- Grenzwerte UVW-Analyse: 0 Tage; 1 Tag; 2 Tage
- Losgrößenberechnung: Ja
- Logistikkostenfaktor: 9
- Ausschluss einer Auftragsabwicklungsstrategie basierend auf Klassifizierung: Nein
- Festlegung einer Auftragsabwicklungsstrategie basierend auf Klassifizierung: Nein
- Ziel-Liefertermineinhaltung: 95%
- Ziel-Servicegrad im Fertigwarenlager: 95%
- Nachfrageschwankungen: Ja, Schwankung der Menge je Auftrag um 10%
- Belastungsflexibilität: Ja, Arbeitssystem auf Produktionsstufe 4

6 Literaturverzeichnis

- [1] Olhager, J., 2003. Strategic Positioning of the Order Penetration Point. *International Journal of Production Economics*. *International Journal of Production Economics* 85 (3), 319–329.
- [2] Hoekstra, S., Romme, J., Argelo, S.M., 1992. *Integral logistic structures: Developing customer-oriented goods flow*. McGraw-Hill, London, New York.
- [3] Wiendahl, H.-P., Reichardt, J., Nyhuis, P., 2010. *Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten*, 1. Aufl. ed. Carl Hanser, München, Wien.
- [4] Berthold, M.R., Cebon, N., Dill, F., Gabriel, T.R., Kötter, T., Meinl, T., Ohl, P., Thiel, K., Wiswedel, B., 2009. KNIME-the Konstanz information miner: version 2.0 and beyond. *AcM SIGKDD explorations Newsletter* 11 (1), 26–31.
- [5] Nyhuis, P., Wiendahl, H.-P., 2012. *Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen*, 3. Aufl. ed. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [6] Bultmann, D., 1988. ABC-/XYZ-Analysen als Instrument der analytischen Logistik, in: Baumgarten, H. (Ed.), *RKW-Handbuch Logistik*. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1–16.
- [7] Kugler, P., Nyhuis, P., 1995. Controllingwerkzeuge als Fenster zum Prozeß in Produktion und Beschaffung, in: Seminar, 'KVP in der Produktionslogistik' der Techno-Transfer GmbH, Hannover. November 02 – 03.
- [8] Gudehus, T., 2010. *Logistik: Grundlagen - Strategien - Anwendungen*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [9] Münzberg, B., 2013. *Multikriterielle Losgrößenbildung*. Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2013, Garbsen.
- [10] Andler, K., 1929. *Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße*. Oldenbourg, München.
- [11] Harris, F.W., 1913. How many parts to make at once: How many parts to make at once. *Factory – Mag. Manag.* 10 (2), 135–136.
- [12] Schmidt, M., Münzberg, B., Nyhuis, P., 2015. Determining lot sizes in production areas: Exact calculations versus research based estimation. *Procedia CIRP* 28, 143–148.
- [13] Schmidt, M., Bertsch, S., Nyhuis, P., 2014. Schedule compliance operating curves and their application in designing the supply chain of a metal producer. *Production Planning & Control* 25 (2), 123–133.
- [14] Nyhuis, P., 1996. Lagerkennlinien: ein Modellansatz zur Unterstützung des Beschaffungs- und Bestandscontrollings, in: Baumgarten, H. (Ed.), *RKW-Handbuch Logistik*. Erich Schmidt, Berlin, 1–30.
- [15] Lutz, S., 2002. *Kennliniengestütztes Lagermanagement*. Univ., Diss. Hannover, 2002. VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [16] Becker, J. *Dynamisches kennliniengestütztes Bestandsmanagement*. Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2016, Garbsen.